



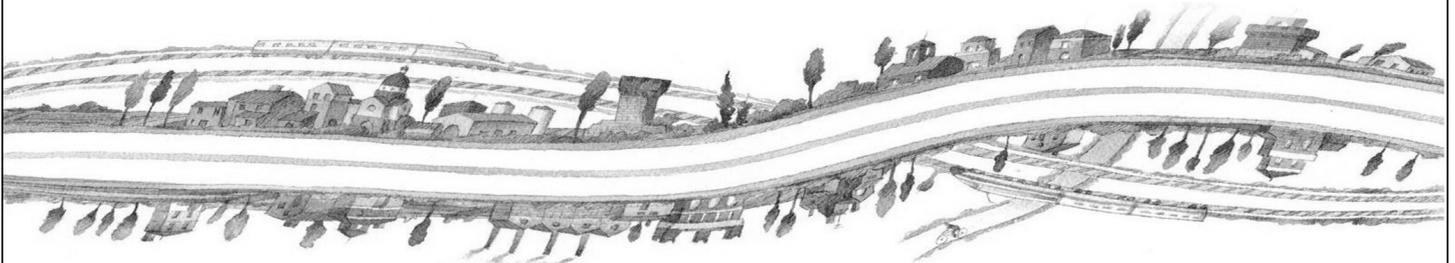
AUTOSTRADA REGIONALE CISPADANA DAL CASELLO DI REGGIOLO-ROLO SULLA A22 AL CASELLO DI FERRARA SUD SULLA A13

CODICE C.U.P. E81B08000060009

PROGETTO DEFINITIVO

ASSE AUTOSTRADALE (COMPRESIVO DEGLI INTERVENTI LOCALI DI COLLEGAMENTO VIARIO AL SISTEMA AUTOSTRADALE)

PROGETTAZIONE STRADALE
INTERCONNESSIONI E SVINCOLI
SVINCOLO DI POGGIO RENATICO
RELAZIONE TECNICA E TABULATI DI VERIFICA DEL TRACCIATO STRADALE



IL PROGETTISTA

RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

IL CONCESSIONARIO

PIACENTINI INGEGNERI S.r.l.
Ing. Luca Piacentini
Albo Ing. Bologna n° 4152

Ing. Emilio Salsi
Albo Ing. Reggio Emilia n° 945

Autostrada Regionale
Cispadana S.p.A.
IL PRESIDENTE
Graziano Pattuzzi



G										
F										
E										
D										
C										
B										
A	17.04.2012	Emissione		Attanasio	Piacentini	Salsi				
REV.	DATA	DESCRIZIONE		REDAZIONE	CONTROLLO	APPROVAZIONE				
IDENTIFICAZIONE ELABORATO										DATA: MAGGIO 2012
NUM. PROGR.	FASE	LOTTO	GRUPPO	CODICE OPERA WBS	TRATTO OPERA	AMBITO	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVO	REV.	SCALA:
1213	PD	0	S05	SRA00	0	SD	RH	01	A	

INDICE

1. GENERALITÀ E NORMATIVE.....	2
1.1. GENERALITÀ	2
1.2. CRITERI DI PROGETTAZIONE STRADALE.....	3
1.3. NORMATIVE DI RIFETIMENTO	3
1.4. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	4
2. CARATTERISTICHE PLANO-ALTIMETRICHE DEI RAMI DI SVINCOLO	8
2.1. SRA20 – “RAMO RP”	8
2.2. SRA19 – “RAMO PF”	9
2.3. SRA18 – “RAMO FP”	10
2.4. SRA17 – “RAMO PR”	12
2.5. SAT05 – RAMO “SV”	14
2.6. CORSIE DI IMMISSIONE (O DI ENTRATA)	14
2.6.1. Tratto di accelerazione di lunghezza $L_{a,e}$	14
2.6.2. Elemento di raccordo di lunghezza $L_{v,e}$	15
2.6.3. Verifica funzionale della zona di immissione	15
2.7. CORSIA DI DIVERSIONE (O DI USCITA)	15
2.7.1. Tratto di manovra di lunghezza $L_{m,u}$	16
2.7.2. Tratto di decelerazione di lunghezza $L_{d,u}$	16
3. VERIFICHE DI VISIBILITÀ E DIAGRAMMI DELLE VELOCITÀ.....	17
3.1. CRITERI PER L'ESECUZIONE DELLE VERIFICHE DI VISIBILITÀ	17
3.1.1. Distanza di visibilità per l'arresto	17
3.1.2. Verifiche del diagramma di velocità	19
3.2. SRA20 – “RAMO RP”	20
3.3. SRA19 – “RAMO PF”	21
3.4. SRA18 – “RAMO FP”	22
3.5. SRA17 – “RAMO PR”	23
4. SEZIONI TIPO	24

1. GENERALITÀ E NORMATIVE

1.1. GENERALITÀ

Il progetto autostradale prevede il posizionamento di quattro svincoli di autostazione e più precisamente:

Svincoli a più livelli	Progressiva (m)	Distanza (m)
Autostazione di San Possidonio-Concordia-Mirandola	11+700	
		16.675
Autostazione di S. Felice sul Panaro – Finale Emilia	28+375	
		13.075
Autostazione di Cento	41+450	
		10.350
Autostazione di Poggio Renatico	51+800	

TABELLA 1-1 – ELENCO SVINCOLI DI AUTOSTAZIONE

Gli svincoli sono proposti tutti con la tipologia a “Racchetta” per minimizzare l’impatto dell’opera sul territorio. Le rampe si configurano in dirette e semidirette, evitando quindi l’adozione di manovre indirette presenti invece nella tipologia normalmente utilizzata a “Trombetta”.

Lo schema prevede due rami di scavalco dell’autostrada aventi manovra semidiretta, e due rampe aventi manovra diretta caratterizzate da maggiori raggi di curvatura e maggiori velocità di progetto.

La geometria adottata per le rampe consente di distanziare opportunamente le corsie di accelerazione e decelerazione delle stesse sulle arterie principali e non creare quindi punti di conflitto o generare disorientamento all’utenza. Lo schema di svincolo è stato definito partendo dalla ipotesi emessa in progetto preliminare.

1.2. CRITERI DI PROGETTAZIONE STRADALE

Il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ha emanato in data 19 aprile 2006 le "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali" con le quali si sono definiti nuovi criteri per la definizione e la progettazione delle caratteristiche plano-altimetriche delle intersezioni stradali. Tali nuovi criteri, che rivestono carattere di normativa e quindi sono vincolanti per le nuove progettazioni, sono stati utilizzati nella definizione di tutte le grandezze geometriche e nella verifica dei criteri di sicurezza propri delle opere progettate.

1.3. NORMATIVE DI RIFETIMENTO

Per quanto riguarda la progettazione delle intersezioni, in data 19/04/2006 è entrato in vigore il DM 1699 ("Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali"), all'interno del quale sono contenute le indicazioni per il dimensionamento delle corsie di accelerazione e decelerazione da impiegare negli svincoli. A tale norma si è ritenuto opportuno integrare le indicazioni del DM 5/11/2001 in modo da individuare criteri progettuali che garantissero caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni coerenti rispetto alla natura dell'infrastruttura.

Si riporta di seguito l'elenco delle normative cui si è fatto riferimento nella progettazione delle opere in oggetto.

GEOMETRIA STRADALE

[1] Codice della Strada. D. Lgs. 30 aprile 1992, n. 285 e successive modifiche ed aggiornamenti. - Regolamento di attuazione. D.P.R. 16 dicembre 1992, n. 495.

[2] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (2001) Decreto 5 novembre 2001. Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade, Pubblicato sulla G.U. N.5 del 4 gennaio 2002.

[3] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (2004) Decreto 22 aprile 2004, n° 67/S Modifica del decreto 5 novembre 2001, n° 6792, recante "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", pubblicato sulla G.U. del 25 giugno 2004.

[4] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (2005) Commissione per la predisposizione di nuove norme per gli interventi di adeguamento delle strade esistenti - "Norme per gli interventi di adeguamento delle strade esistenti ", 11a bozza del 20 aprile 2005.

[5] Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, Decreto del 19 aprile 2006, Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali. Pubblicato sulla GU N. 170 del 24/07/2006.

[6] C.N.R. Bollettino n.78 Norme sulle caratteristiche geometriche delle strade extraurbane del 28/07/1980

INTERSEZIONI

[1] Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) (1983) Norme sulle intersezioni stradali B.U. n. 90, Roma, 15 aprile 1983.

[2] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Ispettorato generale per la circolazione e la sicurezza stradale. Studio a carattere pre-normativo - Rapporto di Sintesi: "NORME SULLE CARATTERISTICHE FUNZIONALI E GEOMETRICHE DELLE INTERSEZIONI STRADALI". Documento approvato dalla Commissione di studio per le norme relative ai materiali stradali e progettazione, costruzione e manutenzione strade del CNR.

[3] IOWA Department of Transportation – IOWA State University: Center for Transportation Research and Education CTRE. Rural Expressways Intersection Synthesis of Practice and Crash Analysis. Final Report CTRE Project 03-157. October 2004.

[4] Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, Decreto del 19 aprile 2006, Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali. Pubblicato sulla GU N. 170 del 24/07/2006.

1.4. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

La tipologia funzionale adottata per la progettazione dello svincolo prevede:

- N° 2 rampe dirette;
- N° 2 rampe semi-dirette;

dove, come convenzione, si sono considerate:

- Dirette le rampe che curvano direttamente nella direzione necessaria per andare dal punto di partenza al punto di arrivo, mantenendo tale andamento fino al congiungimento con l'altra strada;

- Semidirette le rampe che nel corso del proprio sviluppo curvano in due sensi opposti (ad es. prima a destra e poi a sinistra), sia per lasciar spazio ad altre rampe sia perché scavalcano la corrente di traffico a cui sono destinate;
- Indirette le rampe che mantengono costantemente la curvatura opposta a quella che sarebbe naturale, e raggiungono la destinazione dopo aver compiuto un cappio ed essere passate sopra o sotto se stesse.

I rami di svincolo esterni, tutti a manovra di svolta diretta, sono previsti in rilevato di altezza variabile dai 2 ai 7 m, con raggi planimetrici previsti tra i 110 m e i 300 m.

Le rampe semidirette sono previste totalmente in rilevato nel rispetto dei corretti distanziamenti tra le rampe, nonché gli eventuali franchi di sicurezza da rispettare.

Sono state implementate le larghezze minime da normativa delle banchine in destra e delle corsie delle rampe unidirezionali, al fine di migliorare la sicurezza dell'infrastruttura ed agevolare le operazioni di soccorso e manutenzione nella fase d'esercizio dell'autostrada.

Le carreggiate delle rampe di svincolo sono state dimensionate in base ai dati riportati nello studio di traffico. In relazione al numero dei veicoli/ora stimato, le carreggiate dei rami di svincolo unidirezionali ad una corsia sono stati progettati di larghezza pari a 8,00 m, composti da una corsia di 4,00 m, banchina laterale in sinistra da 1,00 m e da 3,00 m in destra. I rami unidirezionali a due corsie, derivanti dall'unione di due rampe monocorsia, sono composti da due corsie di marcia di larghezza 3.75 m, la banchina in sinistra da 1,00 m e la banchina in destra implementata a 3,00 m.

Tali dimensioni delle carreggiate, sono state incrementate in alcuni tratti in curva delle rampe semidirette, per garantire il soddisfacimento delle verifiche di visibilità prescritte dal DM del 5/11/2001 riguardante "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade"; In particolare si sono previsti allargamenti della banchina in sinistra per garantire la distanza di visibilità per l'arresto alla velocità di progetto caratteristica del ramo, mentre non sono da prevedersi in destra per la presenza della corsia d'emergenza.

I raccordi clotoidici sono stati progettati con un parametro di scala A, tale da soddisfare le verifiche prescritte dalla normativa vigente, garantendo: il valore minimo del contraccolpo, una adeguata sovra-pendenza longitudinale delle linee di estremità della carreggiata ed una corretta percezione ottica del tracciato.

Le corsie di entrata ed uscita sono previste di larghezza pari a 4,00 m e prevedono la continuità della corsia di emergenza di 3,00 m. Le lunghezze sono state calcolate considerando gli intervalli di velocità indicati nella tabella 1.4-1 che segue e richiesti dalle normative vigenti.

La pendenza longitudinale massima delle livellette è sempre inferiore al 5%; questo per garantire, soprattutto ai mezzi pesanti, condizioni di sicurezza nel moto anche in presenza di una riduzione della aderenza della pavimentazione stradale (neve). La piattaforma stradale ha pendenza trasversale compresa tra il 2,5% e il 7%.

La sovrastruttura stradale e le lavorazioni previste per la preparazione ed il consolidamento del piano di posa dei rilevati, sono le stesse utilizzate per la piattaforma autostradale.

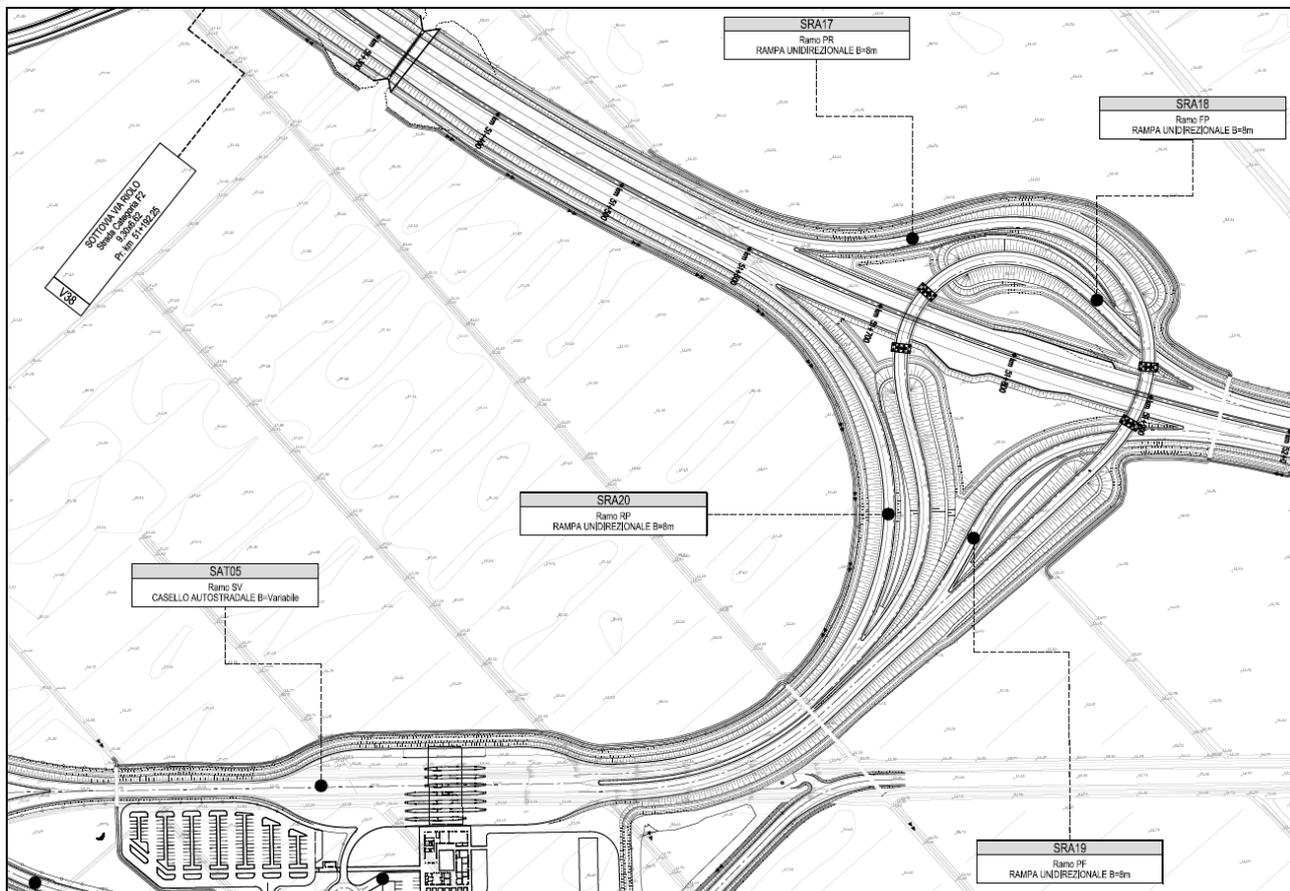


FIGURA 1.4-1 – SCHEMA PLANIMETRICO SVINCOLO DI POGGIO RENATICO

Lo schema di svincolo serve i seguenti itinerari:

- SRA20: Reggiolo-Poggio Renatico (Ramo RP);
- SRA19: Poggio Renatico-Ferrara (Ramo PF);
- SRA18: Ferrara-Poggio Renatico (Ramo FP);
- SRA17: Poggio Renatico- Reggiolo (Ramo PR);
- SAT05: Casello-Rotatoria e viceversa (Ramo SV)

Si riporta di seguito la tabella delle caratteristiche funzionali dei rami di svincolo, indicando tra parentesi i valori minimi richiesti dalle norme.

Ramo di svincolo	Tipo di manovra	Vprogetto (Km/h)	Larghezza (m)	Larghezza banchina in sinistra(m)	Larghezza banchina in destra(m)	Larghezza delle corsie (m)
“RP”	DIRETTA	70 (50-80)	8.00 - 1 corsia (6.00) 11.50 - 2 corsie* (9.00)	1.00	3.00	4.00
“PF”	DIRETTA	70 (50-80)	8.00- 1 corsia (6.00)	1.00	3.00	4.00
“FP”	SEMIDIRETTA	50 (40-70)	8.00 - 1 corsia (6.00)	1.00	3.00	4.00 (3.50)
“PR”	SEMIDIRETTA	50 (40-70)	8.00- 1 corsia (6.00) 11.50 - 2 corsie* (9.00)	1.00	3.00	4.00 (3.50)
“SV”		40	Var	Var	Var	Var

*il ramo passa da una configurazione ad 1 corsia ad una a 2 corsie, a causa dell'unione con un altro ramo avente stessa origine o stessa destinazione.

TABELLA 1.4-1 – CARATTERISTICHE FUNZIONALI E GEOMETRICHE DEI RAMI DI SVINCOLO

Per quanto riguarda la viabilità del casello (Ramo SV), è stata progettata una strada bidirezionale a 2 corsie a larghezza variabile, per consentire il corretto inserimento delle aree di esazione.

2. CARATTERISTICHE PLANO-ALTIMETRICHE DEI RAMI DI SVINCOLO

Dal punto di vista planimetrico, sono stati adottati i raggi minimi come da D.M.19.04.2006, clotoidi come da D.M.5.11.2001 con parametro A definito in base al Criterio Dinamico ($A > 0.021V^2$), al Criterio Costruttivo o della Sovrapendenza Longitudinale ($A > (R/D_{max} \times 100 \times B_i \times (q_f + q_i))^{1/2}$) e del Criterio Ottico ($1/3R < A < R$), pendenze trasversali come da D.M.19.04.2006 (ovvero, in definitiva come da D.M.5.11.2001).

La composizione planimetrica dei tracciati delle rampe è stata progettata come previsto sia dal D.M.5.11.2001 che dal D.M.19.04.2006, in quanto alcune verifiche planimetriche prescritte dalla normativa del 2001 non sono applicabili nel caso di intersezioni di tale tipologia. Si è ritenuto necessario, dunque, derogare all'utilizzo di alcuni elementi planimetrici di sviluppo ridotto, rispetto ai minimi di normativa imposti dal D.M.5.11.2001, che non rappresentano alcun deficit per la sicurezza della circolazione.

I raccordi altimetrici utilizzati nella progettazione delle rampe, sono tutti di tipo parabolico aventi raggio minimo inferiore a quelli minimi previsti dal D.M. 5/11/2001, inoltre, la pendenza delle livellette di progetto, non eccede in nessun caso il 5% come previsto dal progetto preliminare.

2.1. SRA20 – “RAMO RP”

(Progressiva iniziale: 0.000 m ,Progressiva finale: 590.132 m)

Tipo	Progressiva iniziale [m]	Progressiva finale [m]	Sviluppo [m]	Parametro di scala A [m]	Raggio iniziale [m]	Raggio finale [m]	Verso	Pendenza trasversale dx [%]	Pendenza trasversale sx [%]
RETTIFILO	0.000	0.034	0.034	0.000	0.000	0.000		4.168	-4.168
CLOTOIDE	0.034	119.394	119.360	149.000	0.000	186.000	Dx		
ARCO	119.394	516.891	397.497	0.000	186.000	186.000	Dx	-6.742	6.742
CLOTOIDE	516.891	590.132	73.241	116.717	186.000	0.000	Dx		
RETTIFILO	590.132	591.071	0.939	0.000	0.000	0.000		-2.500	2.500

TABELLA 2.1-1 – ELEMENTI PLANIMETRICI DEL RAMO “RP”

Non sono stati riportati in tabella i valori della pendenza trasversale in prossimità delle clotoidi, in quanto, lungo lo sviluppo di questi elementi planimetrici tale caratteristica è variabile.

Per il ramo RP non sono stati previsti allargamenti di visibilità in quanto non necessari.

L'andamento altimetrico del tracciato presenta una pendenza massima del 4% circa. I raccordi parabolici utilizzati sono di raggio maggiore rispetto ai minimi imposti dal D.M. 5/11/2001 come si evince dalle seguenti figure. Tutte le verifiche plano-altimetriche risultano dunque verificate.

N.	Progressiva	Quota	Parziale	Parziale Res.	i (%)	Dislivello	Lunghezza	Lunghezza R.	Esito
0	0.00000000	14.29390930	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	●
1	44.28793587	14.21431223	44.28793587	40.78181875	-0.17972630	0.07959707	44.28800740	40.78188462	●
2	82.29690121	14.33637710	38.00896535	10.31196327	0.32114758	0.12206487	38.00916135	10.31201645	●
3	256.0395984	20.85115965	173.74269718	42.00375383	3.74967274	3.51478255	173.86479579	42.03327219	●
4	382.4652002	15.87968597	126.42560182	1.97476411	-3.93233144	4.97147368	126.52331147	1.97629033	●
5	411.7896248	15.43464422	29.32442465	7.34692821	-1.51764868	0.44504174	29.32780154	7.34777426	●
6	564.7049046	14.22250149	152.91527973	139.90129695	-0.79268909	1.21214274	152.92008392	139.90569227	●
7	590.9960413	13.86500000	26.29113678	18.35187112	-1.35977949	0.35750149	26.29356728	18.35356767	●

FIGURA 2.1-1 – VERTICI DELLE LIVELLETTE DEL RAMO “RP”

N.	Tipo	Raggio Vert.	Delta i (%)	Sviluppo	Prog. Iniziale	Prog. Finale	Parziale Rac.	Sorp/Dc	Vp (km/h)	Diag. Vel	Raggio Min.	Esito
1	Parabolico	1400.000000	0.50087387	7.01224331	40.78181875	47.79405298	7.01223423	<input type="checkbox"/>	70.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	630.1440329	●
2	Parabolico	1411.154000	3.42852516	48.39415946	58.10601625	106.4877861	48.38176991	<input type="checkbox"/>	70.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	1410.589648	●
3	Parabolico	2800.000000	-7.68200417	215.1490949	148.4915400	363.5876567	215.0961167	<input type="checkbox"/>	70.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	1679.281695	●
4	Parabolico	1400.000000	2.41468276	33.81892810	365.5624209	399.3679795	33.80555863	<input type="checkbox"/>	70.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	630.1440329	●
5	Parabolico	1400.000000	0.72495959	10.15013363	406.7149077	416.8643419	10.14943424	<input type="checkbox"/>	70.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	630.1440329	●
6	Parabolico	2800.000000	-0.56709040	15.87947217	556.7656389	572.6441702	15.87853133	<input type="checkbox"/>	70.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	630.1440329	●

FIGURA 2.1-2 – RACCORDI PARABOLICI DI RACCORDO TRA LE LIVELLETTE DEL RAMO “RP”

2.2. SRA19 – “RAMO PF”

(Progressiva iniziale: 0.000 m ,Progressiva finale: 360.187 m)

Tipo	Progressiva iniziale [m]	Progressiva finale [m]	Sviluppo [m]	Parametro di scala A [m]	Raggio iniziale [m]	Raggio finale [m]	Verso	Pendenza trasversale dx [%]	Pendenza trasversale sx [%]
RETTIFILO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		-2.500	2.500
CLOTOIDE	0.000	24.729	24.729	71.200	0.000	205.000	Sx		
ARCO	24.729	67.564	42.835	0.000	205.000	205.000	Sx	4.919	-4.919
CLOTOIDE	67.564	92.293	24.729	71.200	205.000	0.000	Sx		

RETTIFILO	92.293	94.580	2.287	0.000	0.000	0.000		-2.500	2.500
CLOTOIDE	94.580	139.170	44.591	70.036	0.000	110.000	Dx		
ARCO	139.170	189.244	50.074	0.000	110.000	110.000	Dx	-7.000	7.000
CLOTOIDE CONT.	189.244	249.263	60.020	102.100	110.000	300.000	Dx		
ARCO	249.263	299.427	50.163	0.000	300.000	300.000	Dx	-3.856	3.856
CLOTOIDE	299.427	357.199	57.772	131.650	300.000	0.000	Dx		
RETTIFILO	357.199	360.187	2.988	0.000	0.000	0.000		4.170	-4.170

TABELLA 2.2-1 – ELEMENTI PLANIMETRICI DEL RAMO “PF”

Per il ramo “PF” non sono stati previsti allargamenti in quanto ritenuti non necessari. L’andamento altimetrico del tracciato presenta una pendenza massima del 4.9%. I raccordi parabolici utilizzati sono di raggio maggiore rispetto ai minimi imposti dal D.M. 5/11/2001 come si evince dalle seguenti figure. Tutte le verifiche plano-altimetriche risultano dunque verificate.

N.	Progressiva	Quota	Parziale	Parziale Res.	i (%)	Dislivello	Lunghezza	Lunghezza R.	Esito
0	0.00000000	17.62524245	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	●
1	99.30845182	20.27726491	99.30845182	23.99355804	2.67049019	2.65202246	99.34385651	24.00211203	●
2	225.1943609	14.15795189	125.88590917	19.80607969	-4.86099919	-6.11931302	126.03455129	19.82946608	●
3	328.5872012	14.02567920	103.39284022	65.53471425	-0.12793216	-0.13227269	103.39292483	65.53476788	●
4	360.1873006	14.03506262	31.60009944	24.50690918	0.02969429	0.00938343	31.60010084	24.50691026	●

FIGURA 2.2-1 – VERTICI DELLE LIVELLETTE DEL RAMO “PF”

N.	Tipo	Raggio Vert.	Delta i (%)	Sviluppo	Prog. Iniziale	Prog. Finale	Parziale Rac.	Sorp/Dc	Vp (km/h)	Diag. Vel	Raggio Min.	Esito
1	Parabolico	2000.000000	-7.53148938	150.6744160	23.99355804	174.6233456	150.6297875	<input type="checkbox"/>	60.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	1107.139107	●
2	Parabolico	1300.000000	4.73306703	61.55475007	194.4294252	255.9592966	61.52987140	<input type="checkbox"/>	60.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	1266.863916	●
3	Parabolico	9000.000000	0.15762645	14.18638371	321.4940109	335.6803914	14.18638053	<input type="checkbox"/>	60.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	462.9629629	●

FIGURA 2.2-2 – RACCORDI PARABOLICI DI RACCORDO TRA LE LIVELLETTE DEL RAMO “PF”

2.3. SRA18 – “RAMO FP”

(Progressiva iniziale: 0.000 m ,Progressiva finale: 611.122 m)

Tipo	Progressiva iniziale [m]	Progressiva finale [m]	Sviluppo [m]	Parametro di scala A [m]	Raggio iniziale [m]	Raggio finale [m]	Verso	Pendenza trasversale dx [%]	Pendenza trasversale sx[%]
ARCO	0.000	0.000	0.000	0.000	1780.500	1780.500	Dx	-4.170	4.170
CLOTOIDE CONT.	0.000	44.523	44.523	99.025	1780.500	196.000	Dx		
ARCO	44.523	122.559	78.036	0.000	196.000	196.000	Dx	-3.809	3.809
CLOT. FLESSO E	122.559	145.466	22.906	67.005	196.000	0.000	Dx		
CLOT. FLESSO U	145.466	209.603	64.138	67.005	0.000	70.000	Sx		
ARCO	209.603	327.678	118.075	0.000	70.000	70.000	Sx	7.000	-7.000
CLOTOIDE	327.678	394.084	66.406	68.179	70.000	0.000	Sx		
RETTIFILO	394.084	394.093	0.010	0.000	0.000	0.000		-2.500	2.500
CLOTOIDE	394.093	447.428	53.335	80.400	0.000	121.200	Dx		
ARCO	447.428	488.029	40.601	0.000	121.200	121.200	Dx	-5.181	5.181
CLOTOIDE	488.029	608.032	120.003	120.600	121.200	0.000	Dx		
RETTIFILO	608.032	611.122	3.090	0.000	0.000	0.000		-6.742	6.742

TABELLA 2.3-1 – ELEMENTI PLANIMETRICI DEL RAMO “FP”

Al fine di garantire una corretta percezione del tracciato in curva, nonché le distanze di visibilità per l'arresto, è stato necessario applicare alla banchina in sinistra un allargamento pari a 0.9 m (per ulteriori dettagli si rimanda al paragrafo 3.4).

L'andamento altimetrico del tracciato presenta una pendenza massima del 5%. I raccordi parabolici utilizzati sono di raggio maggiore rispetto ai minimi imposti dal D.M. 5/11/2001 come si evince dalle seguenti figure. Tutte le verifiche plano-altimetriche risultano dunque verificate.

N.	Progressiva	Quota	Parziale	Parziale Res.	i [%]	Dislivello	Lunghezza	Lunghezza R.	Esito
0	-0.01961954	13.32084708	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	●
1	30.56229545	13.27631790	30.58191498	27.13623046	-0.14560627	-0.04452919	30.58194740	27.13625922	●
2	105.4707075	12.82309888	74.90841206	43.03724452	-0.60503087	-0.45321902	74.90978311	43.03803223	●
3	342.7897589	24.87906268	237.31905139	143.46977707	5.08006573	12.05596380	237.62507951	143.65478450	●
4	580.2985066	16.22636619	237.50874779	163.45847112	-3.64310644	-8.65269649	237.66630899	163.56690803	●
5	606.2801915	15.72808700	25.98168486	12.56419203	-1.91780937	-0.49827919	25.98646244	12.56650237	●
6	611.1221572	15.68162312	4.84196570	0.05095823	-0.95960788	-0.04646388	4.84218863	0.05096058	●

FIGURA 2.3-1 – VERTICI DELLE LIVELLETTE DEL RAMO “FP”

N.	Tipo	Raggio Vert.	Delta i [%]	Sviluppo	Prog. Iniziale	Prog. Finale	Parziale Rac.	Sorp/Dc	Vp (km/h)	Diag. Vel	Raggio Min.	Esito
1	Parabolico	1500.000000	-0.45942460	6.89142365	27.11661092	34.00797998	6.89136906	<input type="checkbox"/>	50.00000000	<input type="checkbox"/>	321.5020576	●
2	Parabolico	1000.000000	5.68509660	56.87284629	77.04522450	133.8961905	56.85096603	<input type="checkbox"/>	50.00000000	<input type="checkbox"/>	921.9994831	●
3	Parabolico	1500.000000	-8.72317217	130.8924392	277.3659676	408.2135502	130.8475826	<input type="checkbox"/>	50.00000000	<input type="checkbox"/>	683.2244257	●
4	Parabolico	1000.000000	1.72529707	17.25985230	571.6720213	588.9249920	17.25297072	<input type="checkbox"/>	50.00000000	<input type="checkbox"/>	321.5020576	●
5	Parabolico	1000.000000	0.95820149	9.58304322	601.4891840	611.0711990	9.58201493	<input type="checkbox"/>	50.00000000	<input type="checkbox"/>	321.5020576	●

FIGURA 2.3-2 – RACCORDI PARABOLICI DI RACCORDO TRA LE LIVELLETTE DEL RAMO “FP”

2.4. SRA17 – “RAMO PR”

(Progressiva iniziale: 0.000 m ,Progressiva finale: 902.325 m)

Tipo	Progressiva iniziale [m]	Progressiva finale [m]	Sviluppo [m]	Parametro di scala A [m]	Raggio iniziale [m]	Raggio finale [m]	Verso	Pendenza trasversale dx [%]	Pendenza trasversale sx [%]
RETTIFILO	0.000	0.032	0.032	0.000	0.000	0.000		-2.500	2.500
CLOTOIDE	0.032	75.648	75.616	122.360	0.000	198.000	Sx	0.000	0.000
ARCO	75.648	164.594	88.946	0.000	198.000	198.000	Sx	3.784	-3.784
CLOTOIDE	164.594	202.374	37.780	86.490	198.000	0.000	Sx	0.000	0.000
RETTIFILO	202.374	422.237	219.862	0.000	0.000	0.000		-2.500	2.500
CLOTOIDE	422.237	488.871	66.634	77.441	0.000	90.000	Sx	0.000	0.000
ARCO	488.871	656.600	167.729	0.000	90.000	90.000	Sx	6.267	-6.267
CLOTOIDE	656.600	725.989	69.390	79.026	90.000	0.000	Sx	0.000	0.000
RETTIFILO	725.989	731.492	5.503	0.000	0.000	0.000		-2.500	2.500
CLOTOIDE	731.492	760.080	28.588	73.312	0.000	188.000	Dx	0.000	0.000

ARCO	760.080	844.583	84.503	0.000	188.000	188.000	Dx	-3.912	3.912
CLOTOIDE CONT.	844.583	902.325	57.742	110.168	188.000	1780.500	Dx	0.000	0.000
ARCO	902.325	902.325	0.000	0.000	1780.500	1780.500	Dx	-4.170	4.170

TABELLA 2.4-1 – ELEMENTI PLANIMETRICI DEL RAMO “PR”

Al fine di garantire una corretta percezione del tracciato in curva è stato necessario, nel ramo FP, applicare alla banchina in sinistra un allargamento pari a 0.45 m (per ulteriori dettagli si rimanda al paragrafo 3.5).

L'andamento altimetrico del tracciato presenta una pendenza massima del 4.9%. I raccordi parabolici utilizzati sono di raggio maggiore rispetto ai minimi imposti dal D.M. 5/11/01 come si evince dalle seguenti figure. Tutte le verifiche plano-altimetriche risultano dunque verificate.

N.	Progressiva	Quota	Parziale	Parziale Res.	i (%)	Dislivello	Lunghezza	Lunghezza R.	Esito
0	0.00000000	13.86500000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	●
1	18.65890260	13.86500000	18.65890260	6.24308103	0.00000000	0.00000000	18.65890260	6.24308103	●
2	72.34574799	15.19813259	53.68684538	28.23169670	2.48316432	1.33313259	53.70339477	28.24039934	●
3	191.9651415	16.08880348	119.61939355	96.84456954	0.74458737	0.89067090	119.62270942	96.84725408	●
4	244.5306684	17.50370280	52.56552686	36.91787383	2.69168675	1.41489932	52.58456574	36.93124523	●
5	272.0568367	18.57009904	27.52616838	10.76944168	3.87411798	1.06639624	27.54681736	10.77752046	●
6	395.5725034	21.56927587	123.51566665	110.69475967	2.42817523	2.99917682	123.55207392	110.72738787	●
7	498.6327233	24.34333415	103.06021991	44.50979820	2.69168675	2.77405829	103.09754763	44.52591935	●
8	745.0830169	12.38673747	246.45029360	132.04648927	-4.85152462	-11.95659668	246.74016175	132.20179877	●
9	861.5333408	13.42538888	116.45032392	40.05564459	0.89192659	1.03865140	116.45495583	40.05723784	●
10	902.3250000	13.57039497	40.79165913	22.22669883	0.35547976	0.14500609	40.79191687	22.22683926	●

FIGURA 2.4-1 – VERTICI DELLE LIVELLETTE DEL RAMO “PR”

N.	Tipo	Raggio Vert.	Delta i (%)	Sviluppo	Prog. Iniziale	Prog. Finale	Parziale Rac.	Sorp/Dc	Vp (km/h)	Diag. Vel	Raggio Min.	Esito
1	Parabolico	1000.000000	2.48316432	24.83419496	6.24308103	31.07472418	24.83164316	<input type="checkbox"/>	50.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	321.5020576	●
2	Parabolico	1500.000000	-1.73857695	26.08237857	59.30642089	85.38507509	26.07865420	<input type="checkbox"/>	50.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	321.5020576	●
3	Parabolico	1000.000000	1.94709938	19.47417502	182.2296446	201.7006384	19.47099382	<input type="checkbox"/>	50.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	321.5020576	●
4	Parabolico	1000.000000	1.18243122	11.83075111	238.6185122	250.4428245	11.82431225	<input type="checkbox"/>	50.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	321.5020576	●
5	Parabolico	1500.000000	-1.44594274	21.70009555	261.2122662	282.9014073	21.68914117	<input type="checkbox"/>	50.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	321.5020576	●
6	Parabolico	1500.000000	0.26351152	3.95396887	393.5961670	397.5488398	3.95267280	<input type="checkbox"/>	50.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	321.5020576	●
7	Parabolico	1500.000000	-7.54321138	113.1815887	442.0586380	555.2068086	113.1481706	<input type="checkbox"/>	50.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	681.0707125	●
8	Parabolico	2013.762000	5.74345121	115.6979916	687.2532979	802.9127359	115.6594380	<input type="checkbox"/>	50.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	920.0187948	●
9	Parabolico	6921.454000	-0.53644683	37.13068733	842.9683805	880.0983011	37.12992062	<input type="checkbox"/>	50.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	321.5020576	●

FIGURA 2.4-2 – RACCORDI PARABOLICI DI RACCORDO TRA LE LIVELLETTE DEL RAMO “PR”

2.5. SAT05 – RAMO “SV”

(Progressiva iniziale: 0.000 m ,Progressiva finale: 420.782 m)

Tipo	Progressiva iniziale [m]	Progressiva finale [m]	Sviluppo [m]	Parametro di scala A [m]	Raggio iniziale [m]	Raggio finale [m]	Pendenza trasversale dx [%]	Pendenza trasversale sx [%]
RETTIFILO	0.000	420.782	420.782	0.000	0.000	0.000	-2.500	-2.500

2.6. CORSIE DI IMMISSIONE (O DI ENTRATA)

La corsia di immissione realizza l'ingresso del ramo di svincolo nel tracciato principale. Il tronco di tale corsia, parallelo all'asse autostradale (da sommare al tronco di raccordo e al tratto a curvatura variabile), è stato dimensionato prendendo in considerazione il più gravoso tra i valori ottenuti con il criterio cinematico e con quello funzionale mediante i metodi dell'HCM.

Lo schema geometrico utilizzato per la progettazione, è descritto dalla figura seguente.

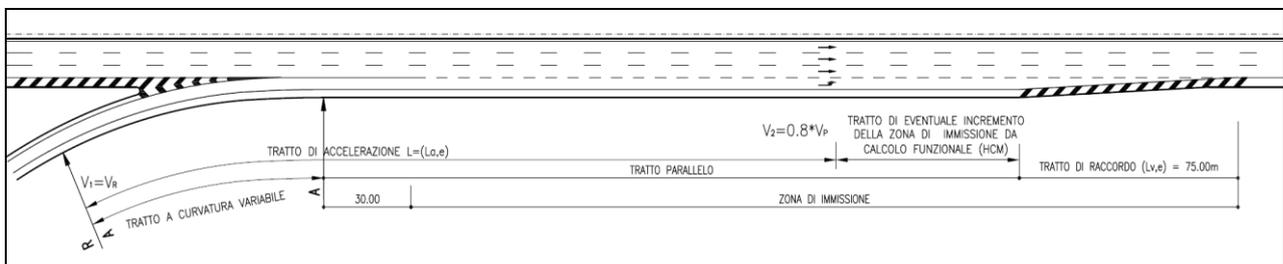


FIGURA 2.5-1 – SCHEMA PLANIMETRICO DELLA CORSIA DI IMMISSIONE

2.6.1. Tratto di accelerazione di lunghezza $L_{a,e}$

$L_{a,e}$ si calcola secondo la formula del moto uniformemente accelerato:

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

dove:

- $L_{a,e}$ (m) è la lunghezza necessaria per la variazione cinematica;
- v_1 (m/s) , è pari all'80% della velocità di progetto, desunta dai diagrammi di velocità, del tratto di tracciato principale in cui si realizza immettere dei veicoli. Per l'asse della Cispadana in condizioni di

percorrenza alla velocità massima di progetto ($v_p=140\text{km/h}$ per l'intero sviluppo) la velocità di immissione è pari a $v_1=112\text{ km/h}$;

- $v_2(\text{m/s})$, è la velocità di progetto, desunta dal diagramma di velocità, del punto di inizio della corsia di immissione (punto di passaggio dal raccordo circolare alla clotoide di accelerazione);
- “a” (m/s^2) è l'accelerazione pari a $1,0\text{ m/s}^2$.

2.6.2. Elemento di raccordo di lunghezza $L_{v,e}$

Il tratto di raccordo $L_{v,e}$ si dimensiona con criteri geometrici in base alla velocità di progetto della strada principale:

per $V_p > 80\text{ km/h}$ $L_{v,e} = 75\text{ m}$

2.6.3. Verifica funzionale della zona di immissione

La zona di immissione corrisponde alla lunghezza complessiva del tratto di corsia specializzata in cui è ammessa la manovra di immissione (tratto con linea tratteggiata pari alla somma del tratto parallelo, a meno dei primi 30 metri, e del tratto di raccordo).

Al fine di individuare il grado di performance dello scambio di flusso veicolare, occorre effettuare una verifica funzionale dell'intera “zona di immissione”; essa verrà condotta in riferimento ai contenuti dell'Highway Capacity Manual (HCM 2000), assicurandosi che fornisca un livello di servizio LOS B o comunque non inferiore a quella offerta nel tratto autostradale a valle.

2.7. CORSIA DI DIVERSIONE (O DI USCITA)

Realizza l'uscita dal tracciato principale; per l'asse della Cispadana si utilizza la soluzione di uscita parallela come mostrato nella figura seguente.

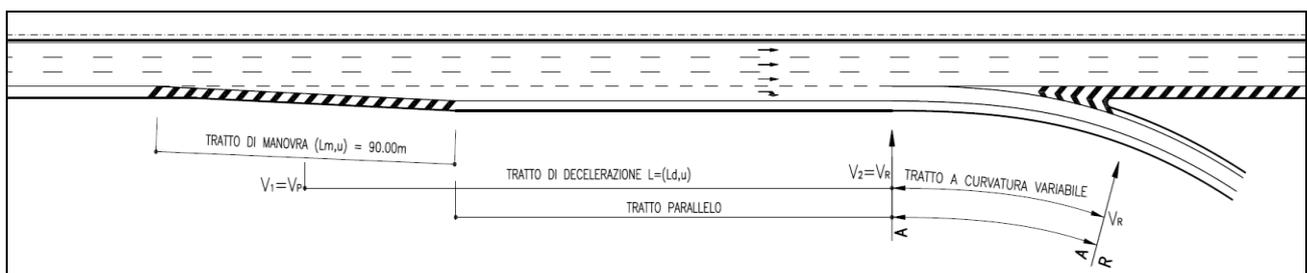


FIGURA 2.6-1 – SCHEMA PLANIMETRICO DELLA CORSIA DI DIVERSIONE

2.7.1. Tratto di manovra di lunghezza $L_{m,u}$

Si dimensiona con criteri geometrici in base alla velocità di progetto della strada principale:

per $V_p > 120$ km/h $L_{m,u} = 90$ m

2.7.2. Tratto di decelerazione di lunghezza $L_{d,u}$

Si dimensiona con il criterio cinematico (moto uniformemente accelerato) secondo la formula:

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

dove:

- $L_{d,u}$ (m) è la lunghezza necessaria per la variazione cinematica;
- v_1 (m/s) , è la velocità di progetto, desunta dai diagrammi di velocità, del tratto di tracciato principale da cui provengono i veicoli in uscita. Per l'asse della Cispadana lungo l'intero sviluppo si assume $v_1 = 140$ km/h;
- v_2 (m/s) , è la velocità di progetto del raccordo circolare di deviazione;
- "a" (m/s²) è la decelerazione assunta pari a 3,0 m/s².

Il tratto di decelerazione comprendente metà tratto di manovra e termina in corrispondenza dell'inizio della curva a raggio variabile di raccordo all'elemento circolare.

3. VERIFICHE DI VISIBILITÀ E DIAGRAMMI DELLE VELOCITÀ

3.1. CRITERI PER L'ESECUZIONE DELLE VERIFICHE DI VISIBILITÀ

Per distanza di visuale libera o di visibilità 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.

La distanza di visuale libera deve essere confrontata, a seconda dei casi, con le seguenti distanze definite nel D.M. 5/11/2001:

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

Per le rampe dello svincolo di Poggio Renatico, costituite da una unica carreggiata sempre unidirezionale, si escludono il calcolo della distanza di visibilità per il cambio corsia e per il sorpasso. Quest'ultimo in quanto sulla stessa carreggiata non vi sono veicoli marcianti in senso opposto.

3.1.1. Distanza di visibilità per l'arresto

Il D.M.5.11.2001 stabilisce che lungo tutto il tracciato deve essere assicurata la distanza di visibilità per l'arresto.

Tale distanza si calcola secondo la seguente formula integrale:

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

dove:

- D_1 = spazio percorso nel tempo τ
- D_2 = spazio di frenatura
- V_0 = velocità del veicolo all'inizio della frenatura, pari alla velocità di progetto desunta puntualmente dal diagramma delle velocità [km/h]
- V_1 = velocità finale del veicolo, in cui $V_1 = 0$ 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/s^2]
- R_a = resistenza aerodinamica [N]
- m = massa del veicolo [kg]
- f_l = quota limite del coefficiente di aderenza impegnabile longitudinalmente per la frenatura
- r_0 = resistenza unitaria al rotolamento, trascurabile [N/kg]

La resistenza aerodinamica R_a si valuta con la seguente espressione :

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

dove:

- C_x = coefficiente aerodinamico
- S = superficie resistente [m²]
- ρ = massa volumica dell'aria in condizioni standard [kg/m³]

Con riferimento alla categoria A "Autostrade in ambito extraurbano" la normativa fornisce per f_l i seguenti valori che sono compatibili anche con superficie stradale leggermente bagnata (spessore del velo idrico di 0,5 mm):

VELOCITA' [km/h]	25	40	60	80	100	120	140
f_l Autostrade	-	-	-	0.44	0.40	0.36	0.34

TABELLA 3.1.1-1 – VALORI DI f_l IN FUNZIONE DELLA VELOCITÀ

Nel caso della Autostrada Regionale Cispadana, si è fatto riferimento al seguente diagramma nel quale sono rappresentate, per l'ambito autostradale, le distanze di visibilità per l'arresto calcolate in funzione della velocità di progetto e della pendenza longitudinale.

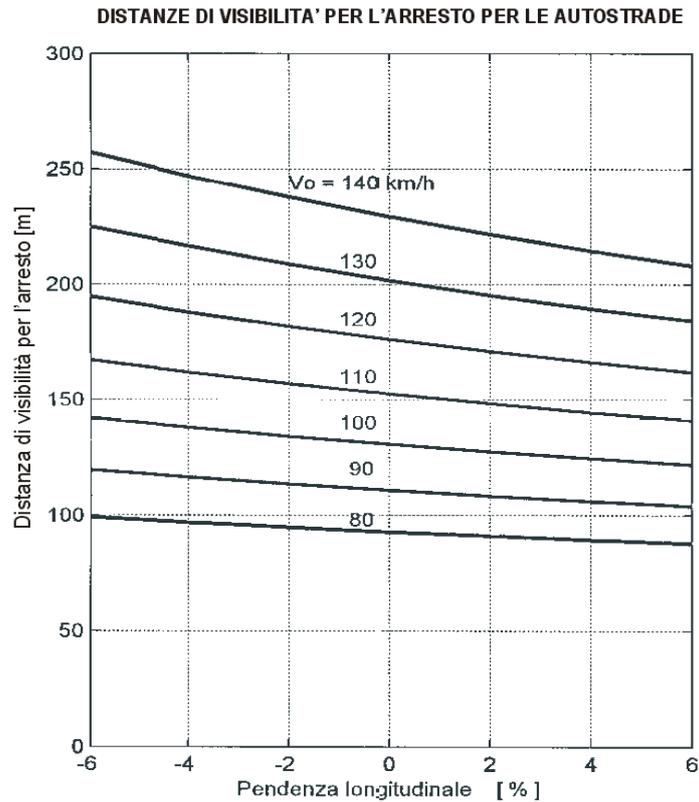


FIGURA 3.1.1 -2 – DISTANZA DI VISIBILITA' PER L'ARRESTO IN FUNZIONE DI V_p E PENDENZA LONGITUDINALE

In corrispondenza dei raccordi verticali si assume come valore di pendenza, la media algebrica delle pendenze delle due livellette raccordate.

Al fine di garantire le distanze di visuale libera per l'arresto, sono stati previsti i seguenti allargamenti della banchina in sinistra. Per ciascun ramo, si riportano nel seguito le progressive dei tratti interessati dagli allargamenti e i corrispondenti valori massimi di allargamento della piattaforma stradale (per i dettagli si rimanda agli specifici elaborati grafici di progetto):

- **Ramo FP :** 0.90 m margine sinistro da prog 0+ 225,00 m a 0+ 342,00 m
- **Ramo PR :** 0.45 m margine sinistro da prog 0+ 475,00 m a 625,00 m

3.1.2. Verifiche del diagramma di velocità

Le verifiche di velocità dei vari rami costituenti lo svincolo non risultano necessarie in quanto tali diagrammi (come mostrato nei sotto paragrafi successivo) hanno un andamento costante e pari alla velocità di progetto dell'elemento considerato.

3.2. SRA20 – “RAMO RP”

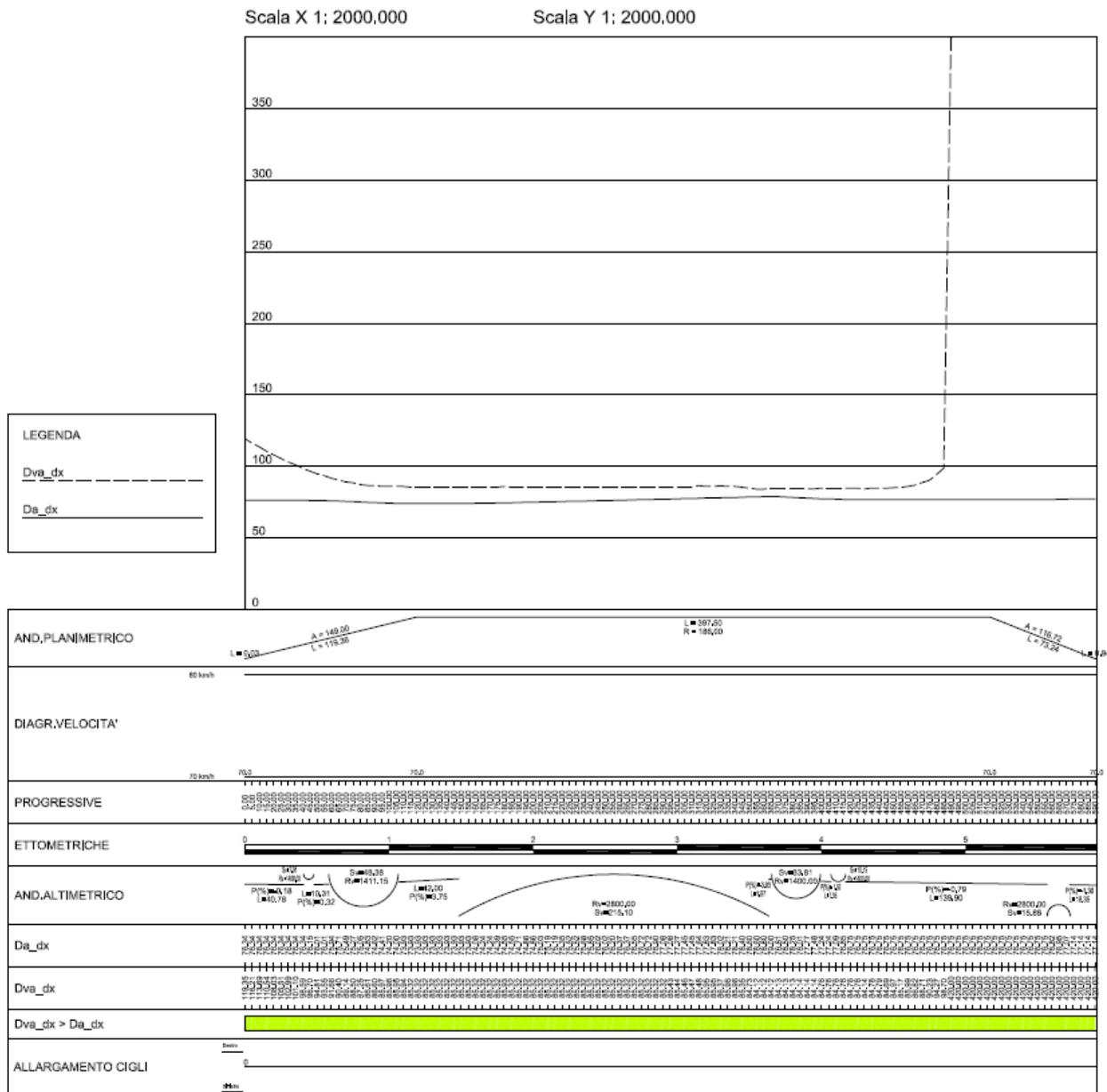


FIGURA 3.2-1 – DISTANZA DI VISIBILITA' PER L'ARRESTO

In ogni punto del tracciato la distanza di visuale libera risulta maggiore della distanza di visibilità per l'arresto.

3.3. SRA19 – “RAMO PF”

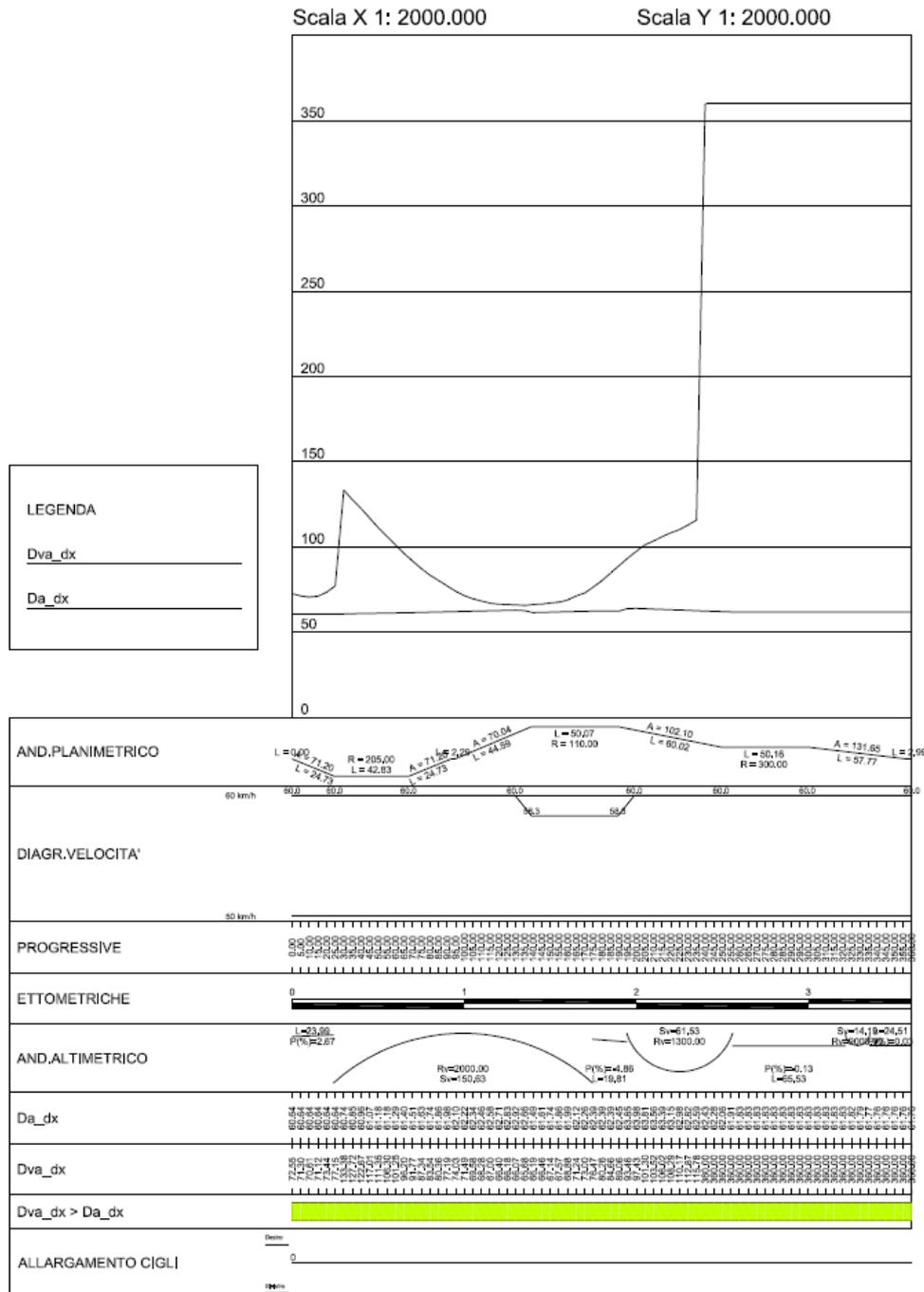


FIGURA 3.3-1 – DISTANZA DI VISIBILITA' PER L'ARRESTO

In ogni punto del tracciato la distanza di visuale libera risulta maggiore della distanza di visibilità per l'arresto.

3.4. SRA18 – “RAMO FP”

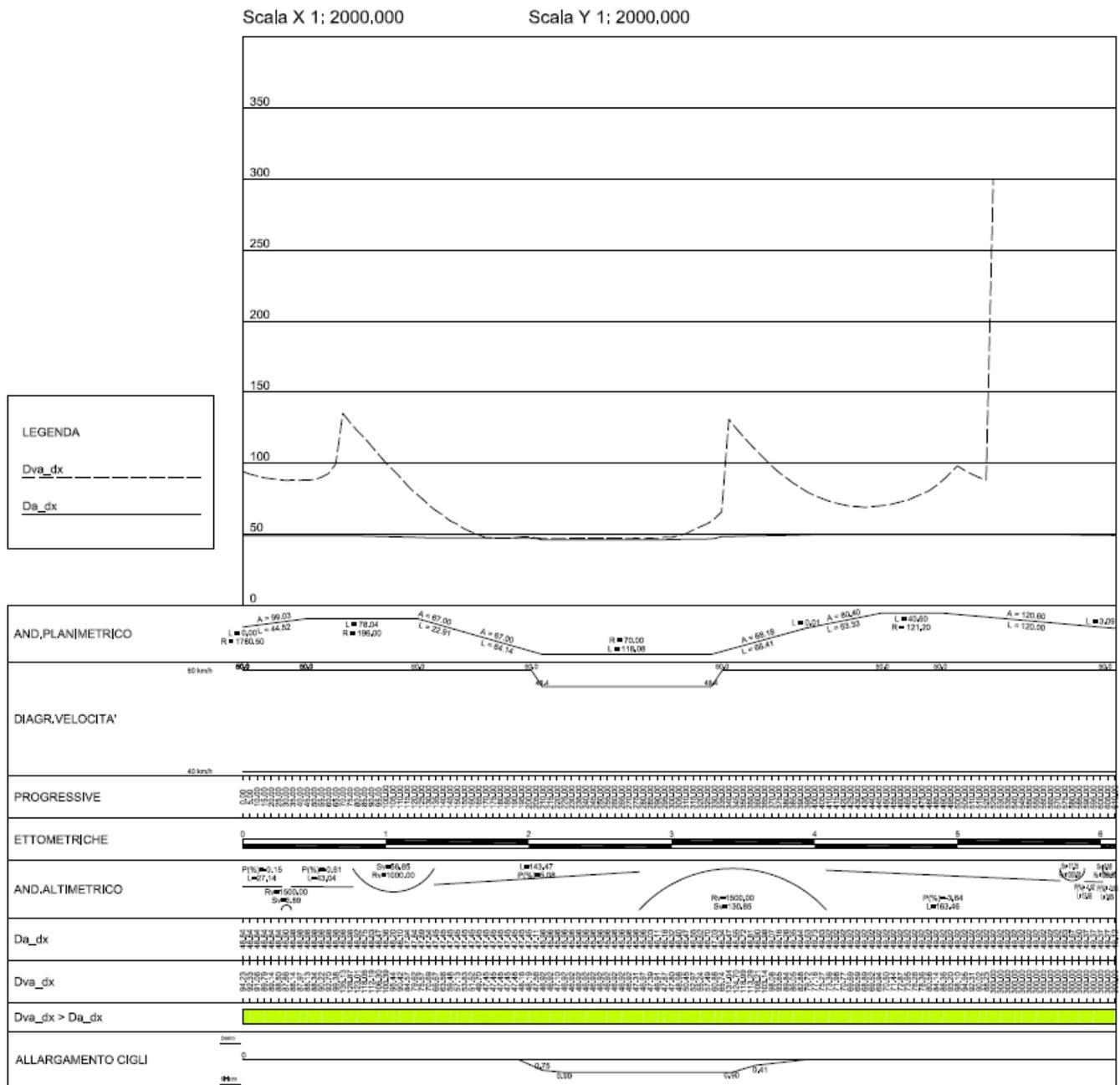


FIGURA 3.4-1 – DISTANZA DI VISIBILITA' PER L'ARRESTO

In ogni punto del tracciato la distanza di visuale libera risulta maggiore della distanza di visibilità per l'arresto. Per garantire tali distanze è stato necessario predisporre un allargamento della carreggiata in sinistra di 0,9m in corrispondenza della curva planimetrica di raggio R=70m.

3.5. SRA17 – “RAMO PR”

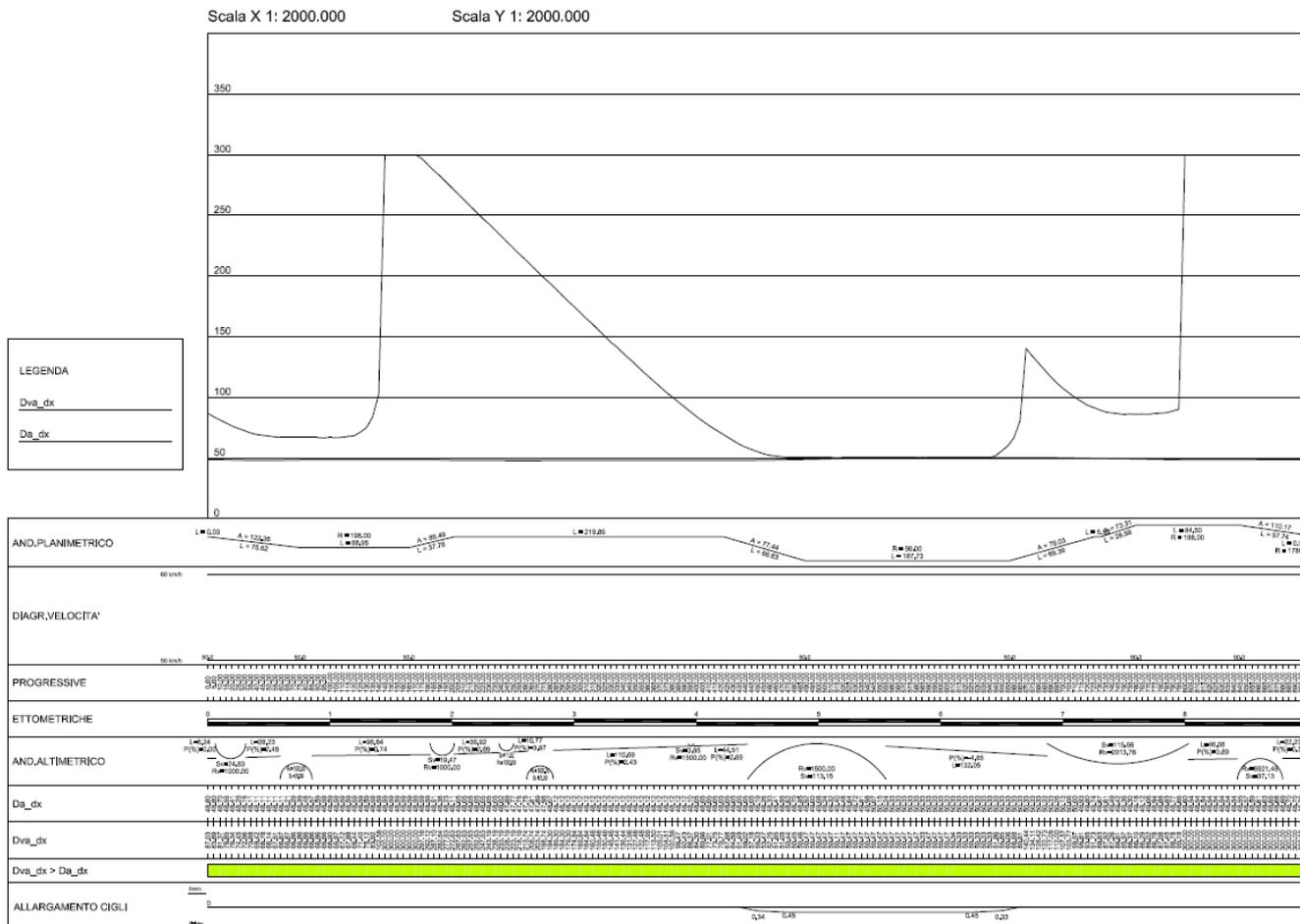


FIGURA 3.5-1 – DISTANZA DI VISIBILITA' PER L'ARRESTO

In ogni punto del tracciato la distanza di visuale libera risulta maggiore della distanza di visibilità per l'arresto. Per garantire tali distanze è stato necessario predisporre un allargamento della carreggiata in sinistra di 0,45m in corrispondenza della curva planimetrica di raggio R=90m.

4. SEZIONI TIPO

In merito alle dimensioni trasversali degli elementi che compongono le rampe, si riporta la seguente tabella del D.M. 2006. I valori indicati sono da considerarsi minimi, e si riferiscono alle sezioni standard in assenza di allargamenti per la visibilità.

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	-

TABELLA 4.1-1 – VALORI MINIMI DI ELEMENTI MODULARI (D.M. 24/07/2006)

Per le diverse rampe di progetto sono state utilizzate, per ciascun elemento stradale, dimensioni maggiori rispetto a quelle previste in tabella; questo al fine di garantire la percorribilità del flusso veicolare anche in caso di parzializzazione della piattaforma durante le operazioni di manutenzione ordinaria o straordinaria.

Sono state assunte le seguenti dimensioni:

- rampa monodirezionale ad una corsia:
larghezza complessiva della sezione pari a 8,00 m costituita da una corsia di marcia di 4,00 m, una banchina in sinistra di 1,00 m e una banchina in destra di 3,00 m;
- rampe monodirezionali a due corsie:
larghezza complessiva della sezione pari a 11,50 m costituita da due corsie di marcia di 3,75 m, una banchina in sinistra di 1,00 m e una banchina in destra di 3,00 m;

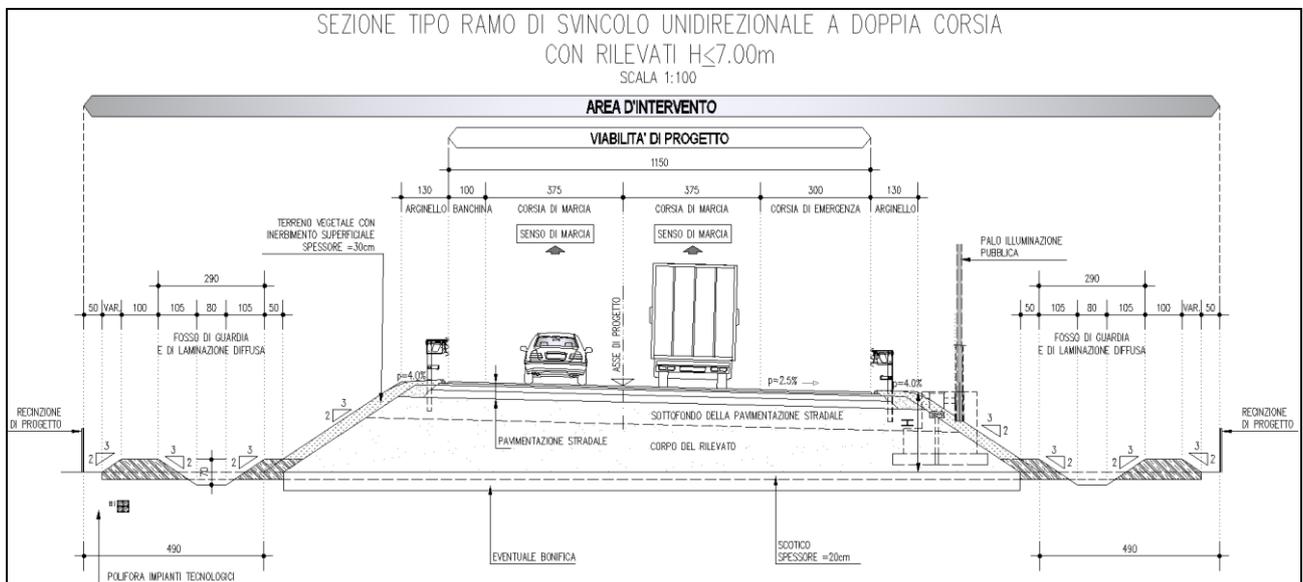
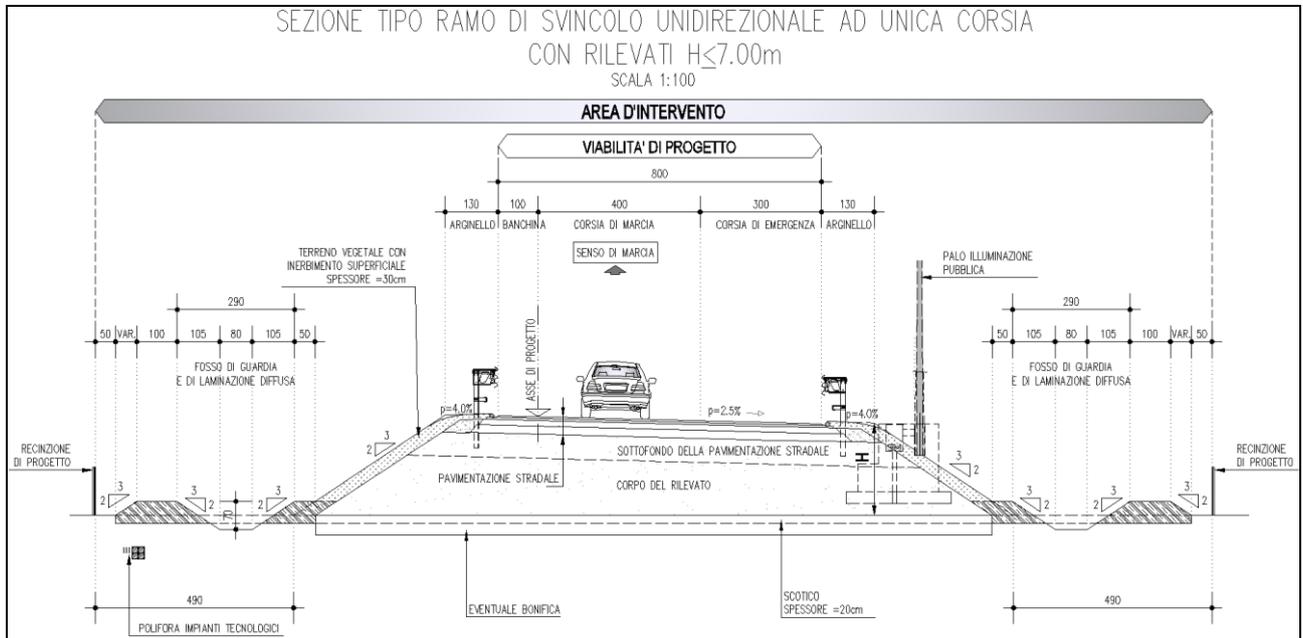


FIGURA 4-1 e 4-2 – SEZIONI TIPO PER RAMPE AD UNA E A DUE CORSIE

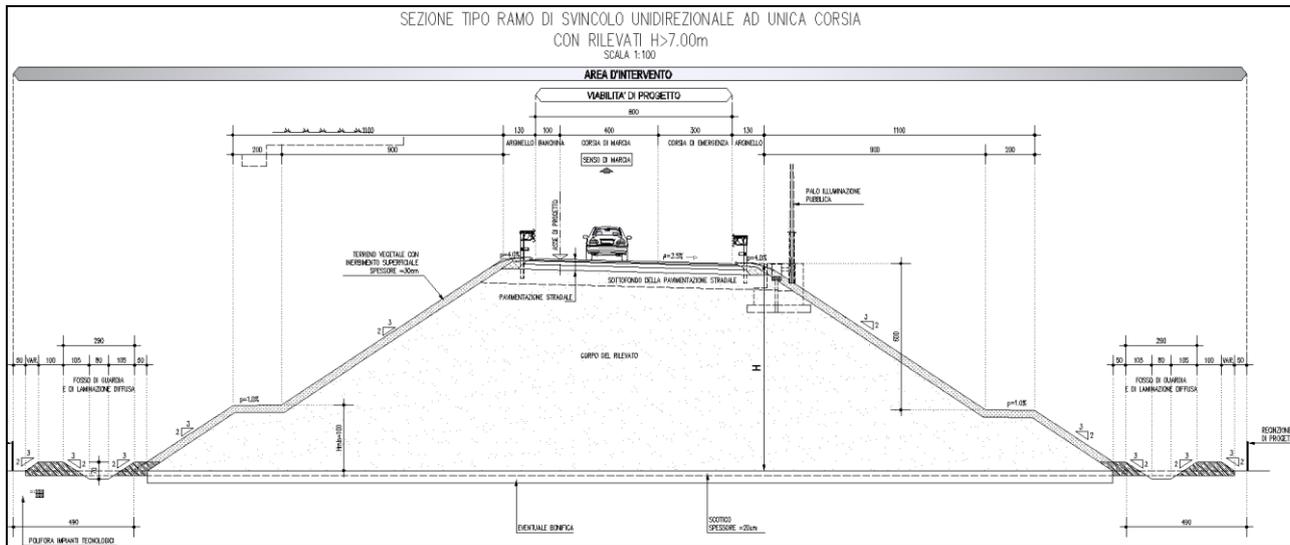


FIGURA 4-3 – SEZIONI TIPO PER RAMPE AD UNICA CORSIA CON H>7m

Per rilevati con altezza superiore di 7 m, è stata prevista la realizzazione di una ribanca di larghezza 2 m, posta 6 m al di sotto della quota di progetto.

La sistemazione della sede stradale è stata effettuata conferendo alle scarpate dei rilevati una pendenza adeguata alla stabilità del corpo autostradale e pari a 2/3.

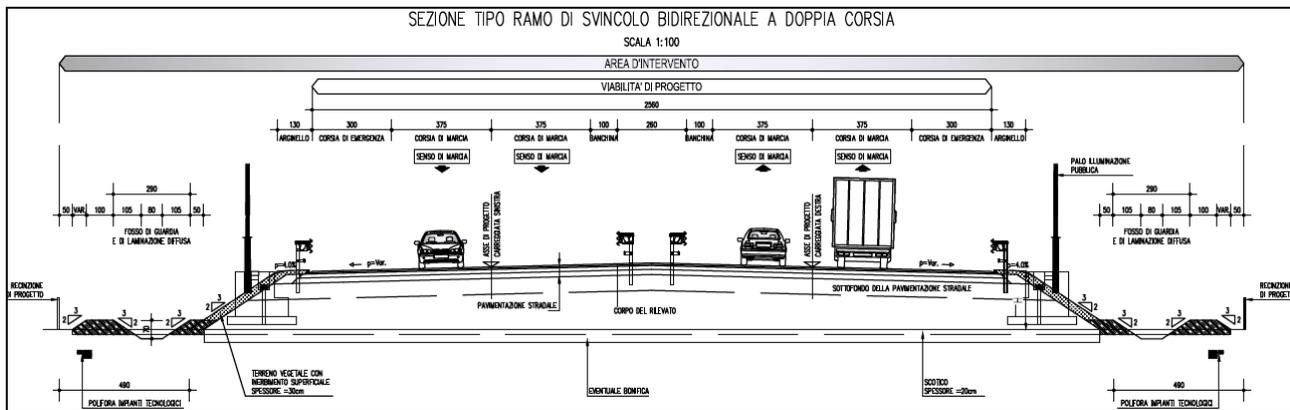


FIGURA 4-4 – SEZIONI TIPO PER RAMPE BIDIREZIONALI A DOPPIA CORSIA