



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

CODICE C.U.P. E81B08000060009

PROGETTO DEFINITIVO

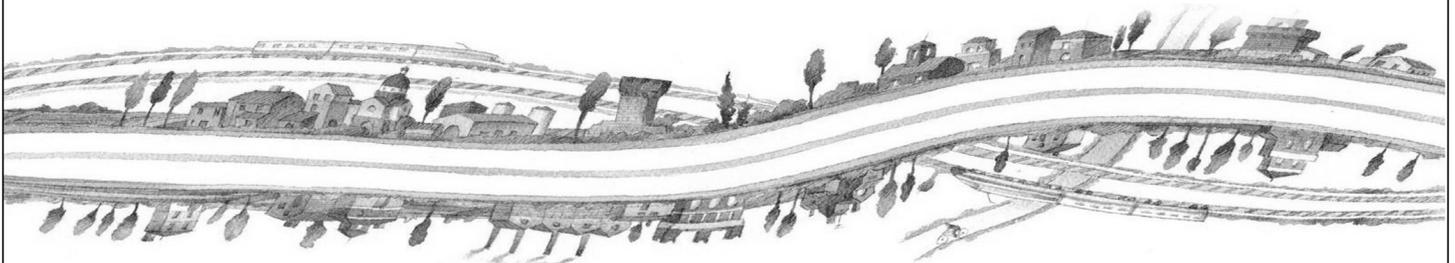
ASSE AUTOSTRADALE (COMPRESIVO DEGLI INTERVENTI LOCALI DI COLLEGAMENTO VIARIO AL SISTEMA AUTOSTRADALE)

PROGETTAZIONE STRADALE

INTERCONNESSIONI E SVINCOLI

INTERCONNESSIONE CON AUTOSTRADA A22 MODENA BRENNERO

RELAZIONE TECNICA E TABULATI DI VERIFICA DEL TRACCIATO STRADALE



IL PROGETTISTA

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



RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

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



IL CONCESSIONARIO

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:
1121	PD	0	I01	IRA00	0	SD	RH	01	A	

INDICE

1. GENERALITÀ E NORMATIVE.....	2
1.1. GENERALITÀ	2
1.2. CRITERI DI PROGETTAZIONE STRADALE.....	2
1.3. NORMATIVE DI RIFETIMENTO	2
1.4. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	4
2. CARATTERISTICHE PLANO-ALTIMETRICHE DEI RAMI DI SVINCOLO	8
2.1. IRA01 – “RAMO FN”	8
2.2. IRA02 – “RAMO FS”	9
2.3. IRA03 – “RAMO NF”	11
2.4. IRA04 – “RAMO SF”	12
2.5. CORSIE DI IMMISSIONE (O DI ENTRATA).....	13
2.5.1. Tratto di accelerazione di lunghezza $L_{a,e}$	14
2.5.2. Elemento di raccordo di lunghezza $L_{v,e}$	14
2.5.3. Verifica funzionale della zona di immissione	14
2.6. CORSIA DI DIVERSIONE (O DI USCITA).....	15
2.6.1. Tratto di manovra di lunghezza $L_{m,u}$	15
2.6.2. Tratto di decelerazione di lunghezza $L_{d,u}$	15
3. VERIFICHE DI VISIBILITÀ E DIAGRAMMI DELLE VELOCITÀ.....	16
3.1. CRITERI PER L'ESECUZIONE DELLE VERIFICHE DI VISIBILITÀ	16
3.1.1. Distanza di visibilità per l'arresto	16
3.1.2. Verifiche del diagramma di velocità.....	18
3.2. IRA01 – “RAMO FN”	19
3.3. IRA02 – “RAMO FS”	19
3.4. IRA03 – “RAMO NF”	20
3.5. IRA04 – “RAMO SF”	20
4. SEZIONI TIPO	21

1. GENERALITÀ E NORMATIVE

1.1. GENERALITÀ

La nuova infrastruttura di progetto prevede l'interconnessione diretta a due autostrade esistenti, l'A22 del Brennero e l'A13 Bologna-Padova, quattro svincolo di autostazione, lo spostamento della barriera di esazione di Ferrara Sud e il nuovo svincolo di Ferrara Sud. Quest'ultimo consente il collegamento della Superstrada Ferrara Porto Garibaldi alla S.S. 64 Poretana e alla tangenziale Ovest di Ferrara. La definizione della tipologia funzionale nonché degli elementi plano-altimetrici caratteristici delle intersezioni si è sviluppata in osservanza di quanto richiesto dal D.M. 19/04/2006 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali"; inoltre 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 e agevolare le operazioni di soccorso e manutenzione nella fase d'esercizio dell'autostrada.

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 della interconnessione prevede:

- N° 1 rampe dirette;
- N° 3 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.

Nella configurazione progettuale proposta, la nuova infrastruttura ha origine dall'interconnessione diretta con l'autostrada A22; i rami di svincolo in entrata e di uscita alla nuova arteria sono del tipo "direzionale", ossia ogni ramo è caratterizzato da una specifica funzione, garantendo una sola manovra. La tipologia di svincolo adottata è un'intersezione tipo 1 (non prevede cioè intersezioni a raso) garantendo standard alti di sicurezza, per una velocità di progetto fino a 80 km/h. Il ramo di uscita dall'autostrada A22 (carreggiata Nord), consente la svolta in sinistra in direzione Ferrara; è previsto in rilevato fino allo scavalco in viadotto della linea ferroviaria FS "Modena – Verona", dopodiché il tracciato sottopassa l'autostrada A22 e nuovamente la linea ferroviaria con la realizzazione di due tratti in galleria artificiale. Le rampe di discesa e salita dalla trincea sono contenute tra muri per la presenza della falda superficiale. Planimetricamente sono caratterizzate da un raccordo di raggio $R = 439,50$ m.

Il ramo di svincolo che dalla nuova autostrada si raccorda all'A22 (ramo "FN"), consente la svolta in destra verso il Brennero. È previsto in rilevato ad un'altezza dal piano campagna di circa 4 m.

Il ramo "FS" è previsto in rilevato e consente la manovra di svolta in sinistra verso Modena. Questo scavalca l'autostrada A22 e la linea ferroviaria con un viadotto unico di lunghezza pari a circa 547 m. Il raggio planimetrico è pari a 120 m ed è previsto un allargamento della banchina interna di 1,00 m.

Il collegamento dall'autostrada A22 (carreggiata Sud) avviene tramite il ramo di svincolo "SF", che consente la svolta in destra in direzione Ferrara. La rampa è prevista parte in rilevato e parte in trincea confinata da muri. Nel tratto in affiancamento all'Autostrada A22 è previsto lo scavalco del "Cavo Parmigiana-Moglia" e

del “collettore acque basse Reggione” in viadotto, il raccordo alla piattaforma stradale esistente si realizza circa 310 m oltre le interferenze idrauliche.

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, il ramo di svincolo “A” è previsto unidirezionale a due corsie di larghezza pari a 11,50 m, con la piattaforma composta da due corsie di marcia da 3,75 m (le norme le prevedono da 3,50 m), banchina in sinistra da 1,00 m e banchina in destra da 3,00 m. Gli altri rami sono previsti unidirezionali ad una corsia da 4,00 m, banchina laterale in sinistra da 1,00 m e sovradimensionata a 3,00 m in destra per consentire l’eventuale sosta di un veicolo in avaria, il transito dei mezzi di soccorso o per deviazione parziali del traffico durante i lavori di manutenzione.

Tali dimensioni delle carreggiate, sono state incrementate in alcuni tratti in curva della rampa semidiretta FS, 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 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%. Per i raccordi convessi, il valore minimo del raggio utilizzato è pari a 4.000 m, per i raccordi concavi è 2.000 m.

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.

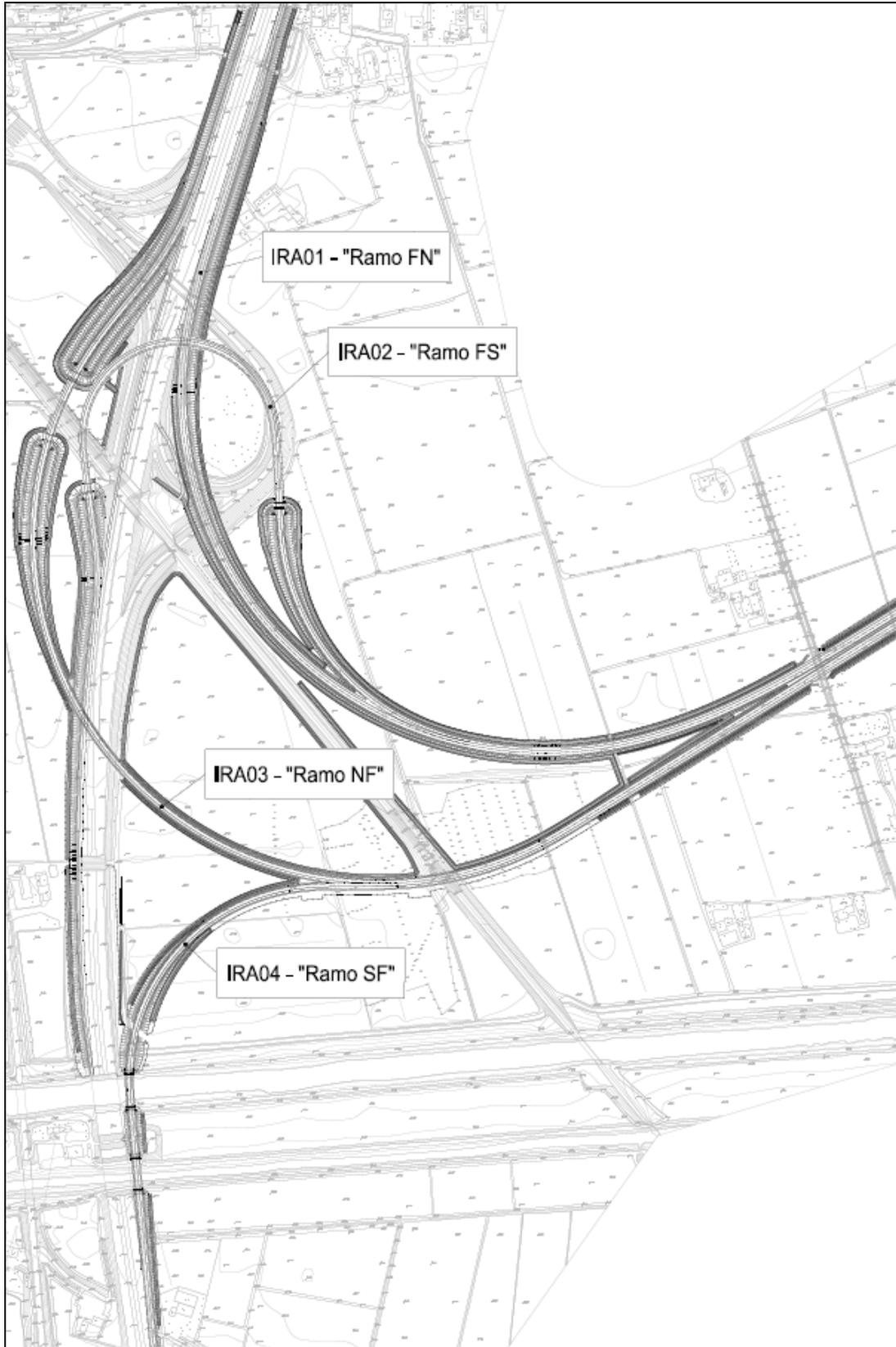


FIGURA 1.4-1 – SCHEMA PLANIMETRICO INTERCONNESSIONE CON A22

Lo schema di svincolo serve i seguenti itinerari:

- IRA01: Ferrara-Brennero (Ramo FN);
- IRA02: Ferrara-Modena (Ramo FS);
- IRA03: Brennero-Ferrara (Ramo NF);
- IRA04: Modena-Ferrara (Ramo SF);

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)
“FN”	DIRETTA	80 (50-80)	11.50 - 2 corsie (9.00)	1.00	3.00	3.75
“FS”	SEMIDIRETTA	60 (40-70)	8.00 - 1 corsia (6.00) 11.50 - 2 corsie* (9.00)	1.00	3.00	4.00 (3.50) 3.75
“NF”	SEMIDIRETTA	80 (40-70)	8.00 - 1 corsia (6.00) 11.50 - 2 corsie* (9.00)	1.00	3.00	4.00 (3.50) 3.75
“SF”	SEMIDIRETTA	80-100 (40-70)	8.00 - 1 corsia (6.00) 11.50 - 2 corsie* (9.00)	1.00	3.00	4.00 (3.50) 3.75

*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

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 ($A > (R/Dimax \times 100 \times Bi \times (qf+qi))^{1/2}$) 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.

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.

2.1. IRA01 – “RAMO FN”

(Progressiva iniziale: 0.000 m ,Progressiva finale: 1743.488 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	68.096	68.096	0.000	0.000	0.000		-2.500	2.500
CLOTOIDE	68.096	478.426	410.331	437.515	0.000	466.500	Dx		
ARCO	478.426	1318.799	840.372	0.000	466.500	466.500	Dx	-6.718	6.718
CLOTOIDE	1318.799	1502.196	183.397	292.497	466.500	0.000	Dx		
RETTIFILO	1502.196	1743.488	241.292	0.000	0.000	0.000		-2.500	2.500

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

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

L'andamento altimetrico del tracciato presenta una pendenza massima del 2%. 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	19.07223228	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	●
1	89.96198639	18.96547954	89.96198639	68.09555939	-0.11866427	0.10675273	89.96204973	68.09560733	●
2	985.1096542	19.86062721	895.14766784	778.28124084	0.10000000	0.89514767	895.14811541	778.28162998	●
3	1323.248412	26.62340237	338.13875778	131.03855817	2.00000000	6.76277516	338.20637877	131.06476326	●
4	1710.034269	25.68736515	386.78585785	267.16059792	-0.24200399	0.93603722	386.78699047	267.16138024	●
5	1743.487547	25.55605929	33.45327805	25.92821774	-0.39250520	0.13130586	33.45353574	25.92841747	●

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

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	20000.00000	0.21866427	43.73286290	68.09555939	111.8284133	43.73285400	<input type="checkbox"/>	80.00000000	<input type="checkbox"/>	823.0452674	●
2	Parabolico	10000.00000	1.90000000	190.0133314	890.1096542	1080.109654	190.0000000	<input type="checkbox"/>	80.00000000	<input type="checkbox"/>	823.0452674	●
3	Parabolico	10000.00000	-2.24200399	224.2137563	1211.148212	1435.348611	224.2003992	<input type="checkbox"/>	80.00000000	<input type="checkbox"/>	1021.477691	●
4	Parabolico	10000.00000	-0.15050121	15.05019779	1702.509209	1717.559330	15.05012063	<input type="checkbox"/>	80.00000000	<input type="checkbox"/>	823.0452674	●

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

2.2. IRA02 – “RAMO FS”

(Progressiva iniziale: 0.000 m ,Progressiva finale: 1720.562 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	1.000	1.000	0.000	466.500	466.500	Dx	-6.718	6.718
CLOTOIDE CONT.	1.000	33.060	32.060	165.701	466.500	302.000	Dx	0.000	0.000
ARCO	33.060	379.067	346.007	0.000	302.000	302.000	Dx	-6.718	6.718
CLOTOIDE	379.067	421.638	42.571	113.387	302.000	0.000	Dx	0.000	0.000
RETTIFILO	421.638	500.431	78.793	0.000	0.000	0.000		-2.500	2.500
CLOTOIDE	500.431	548.465	48.034	75.922	0.000	120.000	Sx	0.000	0.000
ARCO	548.465	890.227	341.762	0.000	120.000	120.000	Sx	6.929	-6.929
CLOTOIDE	890.227	931.819	41.592	70.647	120.000	0.000	Sx	0.000	0.000

RETTIFILO	931.819	1021.709	89.890	0.000	0.000	0.000		-2.500	2.500
CLOTOIDE	1021.709	1055.765	34.056	101.415	0.000	302.000	Dx	0.000	0.000
ARCO	1055.765	1099.269	43.504	0.000	302.000	302.000	Dx	-3.839	3.839
CLOT. FLESSO E	1099.269	1133.035	33.766	100.981	302.000	0.000	Dx	0.000	0.000
CLOT. FLESSO U	1133.035	1137.031	3.997	100.981	0.000	2551.318	Sx	0.000	0.000
ARCO	1137.031	1719.562	582.530	0.000	2551.318	2551.318	Sx	2.500	-2.500
RETTIFILO	1719.562	1720.562	1.000	0.000	0.000	0.000		2.500	-2.500

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

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 1,00 m (per ulteriori dettagli si rimanda al paragrafo 3.3). 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	0.00000000	19.50847953	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	●
1	66.10717712	19.57458671	66.10717712	16.16498513	0.10000000	0.06610718	66.10721017	16.16499321	●
2	230.1334213	18.46856176	164.02624422	0.59810122	-0.67429755	-1.10602495	164.02997312	0.59811482	●
3	707.3484022	42.32931081	477.21498095	87.01031483	5.00000000	23.86074905	477.81112732	87.11900983	●
4	1080.375876	26.57279006	373.02747440	46.60088429	-4.22395717	-15.75652075	373.36010045	46.64243798	●
5	1193.102628	25.54686519	112.72675208	38.54186937	-0.91009884	-1.02592486	112.73142045	38.54346551	●
6	1236.650528	24.43992142	43.54789953	0.37283412	-2.54189935	-1.10694378	43.56196596	0.37295455	●
7	1443.734375	21.75743559	207.08384739	84.47267985	-1.29536217	-2.68248583	207.10122061	84.47976666	●
8	1720.569999	22.96588674	276.83562422	172.92251437	0.43652299	1.20845115	276.83826179	172.92416190	●

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

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	12900.00000	-0.77429755	99.88504534	16.16498513	116.0493691	99.88438398	<input type="checkbox"/>	60.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	462.9629629	●
2	Parabolico	4000.000000	5.67429755	227.0554145	116.6474703	343.6193723	226.9719020	<input type="checkbox"/>	60.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	1274.441423	●
3	Parabolico	6000.000000	-9.22395717	553.6377655	430.6296871	984.0671174	553.4374302	<input type="checkbox"/>	60.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	1109.733077	●
4	Parabolico	3000.000000	3.31385833	99.45304544	1030.668001	1130.083751	99.41574999	<input type="checkbox"/>	60.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	914.3985122	●
5	Parabolico	3000.000000	-1.63180051	48.96184978	1168.625621	1217.579636	48.95401545	<input type="checkbox"/>	60.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	462.9629629	●
6	Parabolico	3000.000000	1.24653718	37.40323979	1217.952470	1255.348585	37.39611537	<input type="checkbox"/>	60.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	462.9629629	●
7	Parabolico	12000.00000	1.73188516	207.8307336	1339.821265	1547.647485	207.8262197	<input type="checkbox"/>	60.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	462.9629629	●

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

2.3. IRA03 – “RAMO NF”

(Progressiva iniziale: 0.000 m ,Progressiva finale: 1439.302 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	173.074	173.074	0.000	0.000	0.000		-2.500	2.500
CLOTOIDE	173.074	225.823	52.749	152.000	0.000	438.000	Dx	0.000	0.000
ARCO	225.823	338.359	112.536	0.000	438.000	438.000	Dx	-6.994	6.994
CLOTOIDE	338.359	391.108	52.749	152.000	438.000	0.000	Dx	0.000	0.000
RETTIFILO	391.108	393.907	2.799	0.000	0.000	0.000		0.001	-0.001
CLOTOIDE	393.907	457.363	63.456	167.000	0.000	439.500	Sx	0.000	0.000
ARCO	457.363	1439.302	981.938	0.000	439.500	439.500	Sx	6.979	-6.979

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

Per il ramo FN non sono stati previsti allargamenti di visibilità in quanto non necessari. 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	0.00000000	25.68921960	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	●
1	242.5969112	26.33227269	242.59691121	203.93157738	0.26507060	0.64305309	242.59776348	203.93229382	●
2	520.1646565	35.26058008	277.56774529	21.16190716	3.21662280	8.92830739	277.71130316	21.17285209	●
3	903.1454869	16.11153856	382.98083045	89.72476620	-5.00000000	-19.14904153	383.45925766	89.83685215	●
4	1439.301768	13.12027848	536.15628191	460.64072197	-0.55790824	-2.99126008	536.16462609	460.64789090	●

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

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	2620.000000	2.95155220	77.34519066	203.9315773	281.2622450	77.33066765	<input type="checkbox"/>	100.0000000	<input checked="" type="checkbox"/>	2619.355844	●
2	Parabolico	5300.000000	8.21662280	435.6208023	302.4241521	737.9051608	435.4810086	<input type="checkbox"/>	100.0000000	<input checked="" type="checkbox"/>	5229.407815	●
3	Parabolico	3400.000000	4.44209176	151.1018307	827.6299270	978.6610468	151.0311198	<input type="checkbox"/>	100.0000000	<input checked="" type="checkbox"/>	3318.007889	●

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

2.4. IRA04 – “RAMO SF”

(Progressiva iniziale: 0.000 m ,Progressiva finale: 1726.142 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	117.605	117.605	0.000	0.000	0.000		-2.500	2.500
RETTIFILO	117.605	405.620	288.015	0.000	0.000	0.000		-2.500	2.500
CLOTOIDE	405.620	465.635	60.015	122.490	0.000	250.000	Dx	0.000	0.000
ARCO	465.635	808.024	342.389	0.000	250.000	250.000	Dx	-7.000	7.000
CLOT. FLESSO E	808.024	896.777	88.753	148.957	250.000	0.000	Dx	0.000	0.000
CLOT. FLESSO U	896.777	946.836	50.058	148.957	0.000	443.250	Sx	0.000	0.000
ARCO	946.836	1138.545	191.709	0.000	443.250	443.250	Sx	6.979	-6.979
CLOTOIDE	1138.545	1206.144	67.599	173.099	443.250	0.000	Sx	0.000	0.000
RETTIFILO	1206.144	1726.142	519.998	0.000	0.000	0.000		-2.500	2.500

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

Per il ramo SF non sono stati previsti allargamenti di visibilità in quanto non necessari. 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. 5/11/01 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	19.57606373	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	●
1	63.50617424	19.66638081	63.50617424	43.84925692	0.14221780	0.09031708	63.50623846	43.84930126	●
2	281.0292661	21.68607073	217.52309196	177.18709932	0.92849449	2.01968992	217.53246811	177.19473682	●
3	483.8390918	27.76306845	202.80982568	22.20270992	2.99640202	6.07699772	202.90085090	22.21267495	●
4	704.5602139	16.72701235	220.72112211	10.39402391	-5.00000000	-11.03605611	220.99685129	10.40700833	●
5	888.7278994	13.70654662	184.16768545	95.89321752	-1.64006282	-3.02046573	184.19245255	95.90611336	●
6	1059.125552	12.75588407	170.39765305	65.44958894	-0.55790824	-0.95066255	170.40030495	65.45060753	●
7	1253.722503	19.34793749	194.59695074	22.89803708	3.38754199	6.59205342	194.70857302	22.91117156	●
8	1636.180450	18.96547954	382.45794684	255.96526011	-0.10000000	-0.38245795	382.45813807	255.96538809	●
9	1726.142436	19.07223228	89.96198639	68.09555939	0.11866427	0.10675273	89.96204973	68.09560733	●

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

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	5000.000000	0.78627669	39.31449930	43.84925692	83.16309156	39.31383464	<input type="checkbox"/>	80.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	823.0452674	●
2	Parabolico	2000.000000	2.06790753	41.36685042	260.3501908	301.7083415	41.35815063	<input type="checkbox"/>	80.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	823.0452674	●
3	Parabolico	4000.000000	-7.99640202	319.9573329	323.9110514	643.7671323	319.8560809	<input type="checkbox"/>	80.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	2565.012756	●
4	Parabolico	3000.000000	3.35993718	100.8583874	654.1611562	754.9592717	100.7981155	<input type="checkbox"/>	79.76000000	<input checked="" type="checkbox"/>	1894.998984	●
5	Parabolico	7000.000000	1.08215458	75.75576432	850.8524892	926.6033096	75.75082036	<input type="checkbox"/>	80.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	823.0452674	●
6	Parabolico	3400.000000	3.94545023	134.1674325	992.0528985	1126.198206	134.1453078	<input type="checkbox"/>	100.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	3212.572887	●
7	Parabolico	6000.000000	-3.48754199	209.2913894	1149.096243	1358.348762	209.2525194	<input type="checkbox"/>	100.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	4991.460516	●
8	Parabolico	20000.000000	0.21866427	43.73286290	1614.314023	1658.046877	43.73285400	<input type="checkbox"/>	100.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	1286.008230	●

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

2.5. 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.

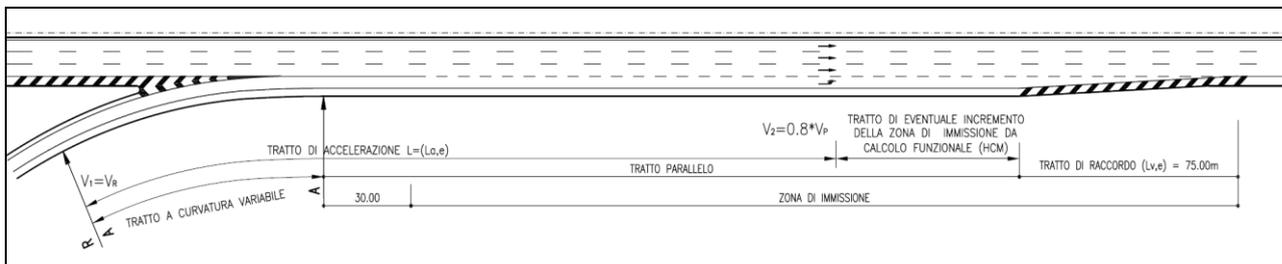


FIGURA 2.5-1 – SCHEMA PLANIMETRICO DELLA CORSIA DI IMMISSIONE

2.5.1. 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 (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 $1,0\text{ m/s}^2$.

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

2.5.3. 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.

2.6. 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.

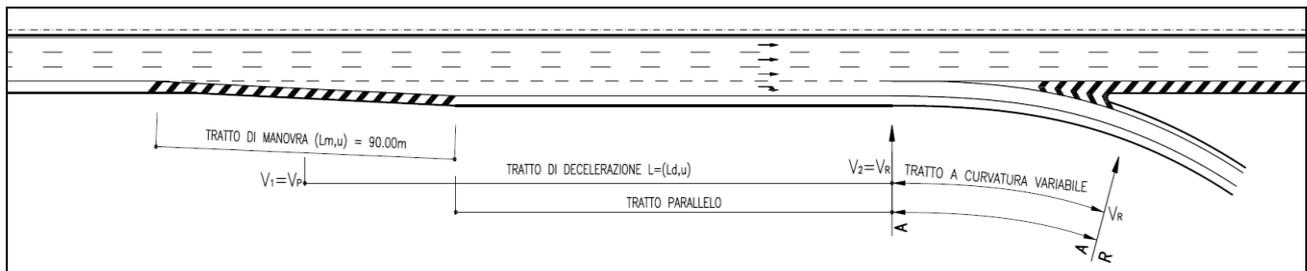


FIGURA 2.6-1 – SCHEMA PLANIMETRICO DELLA CORSIA DI DIVERSIONE

2.6.1. 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

2.6.2. 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/s^2) è la decelerazione assunta pari a $3,0$ m/s^2 .

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 [m^2]
 ρ = massa volumica dell'aria in condizioni standard [kg/m^3]

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.

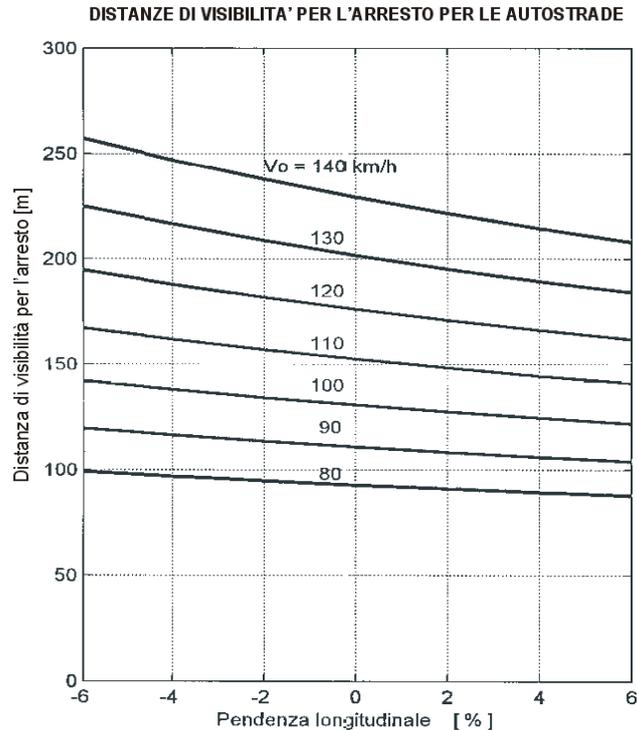


FIGURA 3.1.1 -2 – DISTANZA DI VISIBILITA' PER L'ARRESTO IN FUNZIONE DI V_p E PENDENZA LONGITUDINALE

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 FS :** 1.00 m margine sinistro da prog 0+ 500,43 m a 0+ 931,81 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. IRA01 – “RAMO FN”

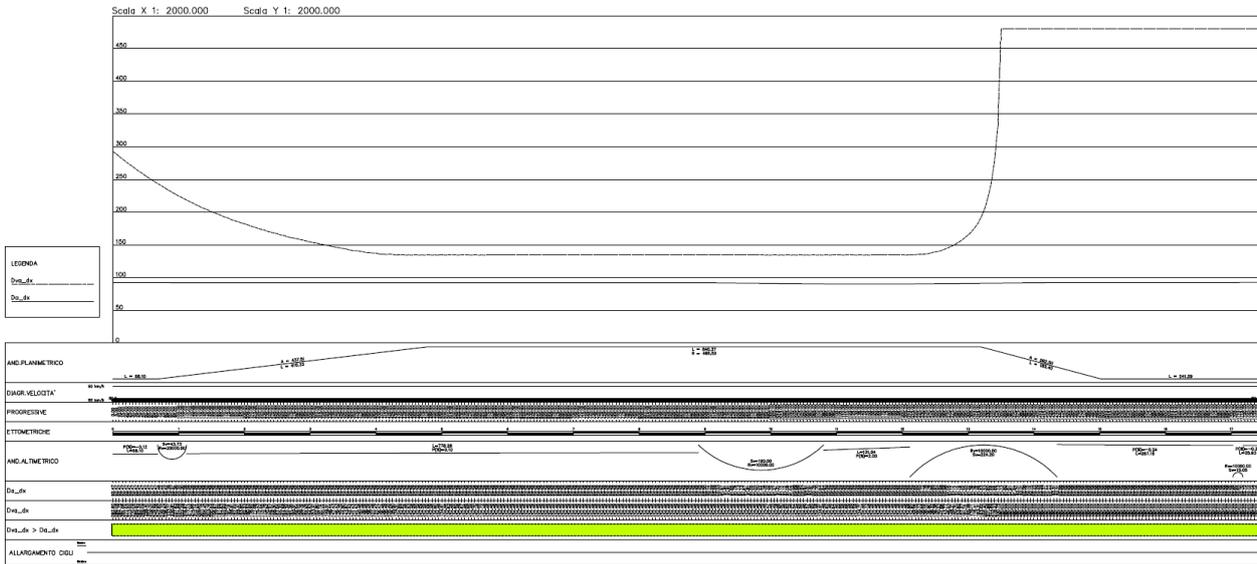


FIGURA 3.2-1 – DISTANZA DI VISIBILITA' PER L'ARRESTO

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

3.3. IRA02 – “RAMO FS”

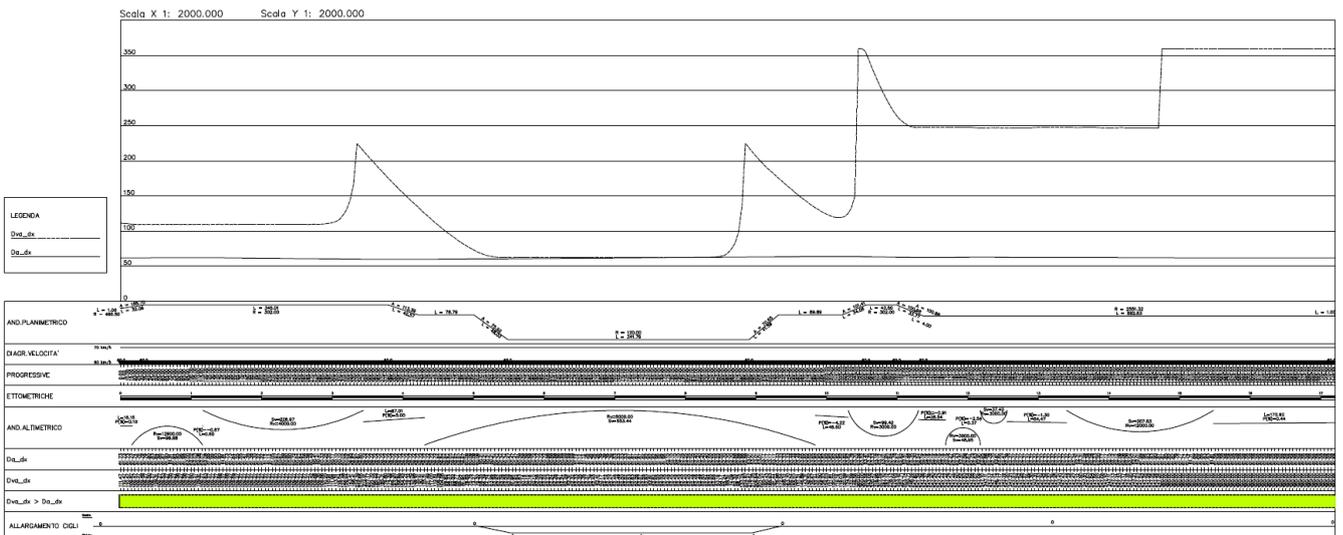


FIGURA 3.3-1 – DISTANZA DI VISIBILITA' PER L'ARRESTO

In ogni punto del tracciato la distanza di visuale libera risulta maggiore della distanza di visibilità per l'arresto. Per garantire tali distanze è stato necessario predisporre un allargamento della carreggiata in sinistra di 1,0 m in corrispondenza della curva planimetrica di raggio $R=120$ m.

3.4. IRA03 – “RAMO NF”

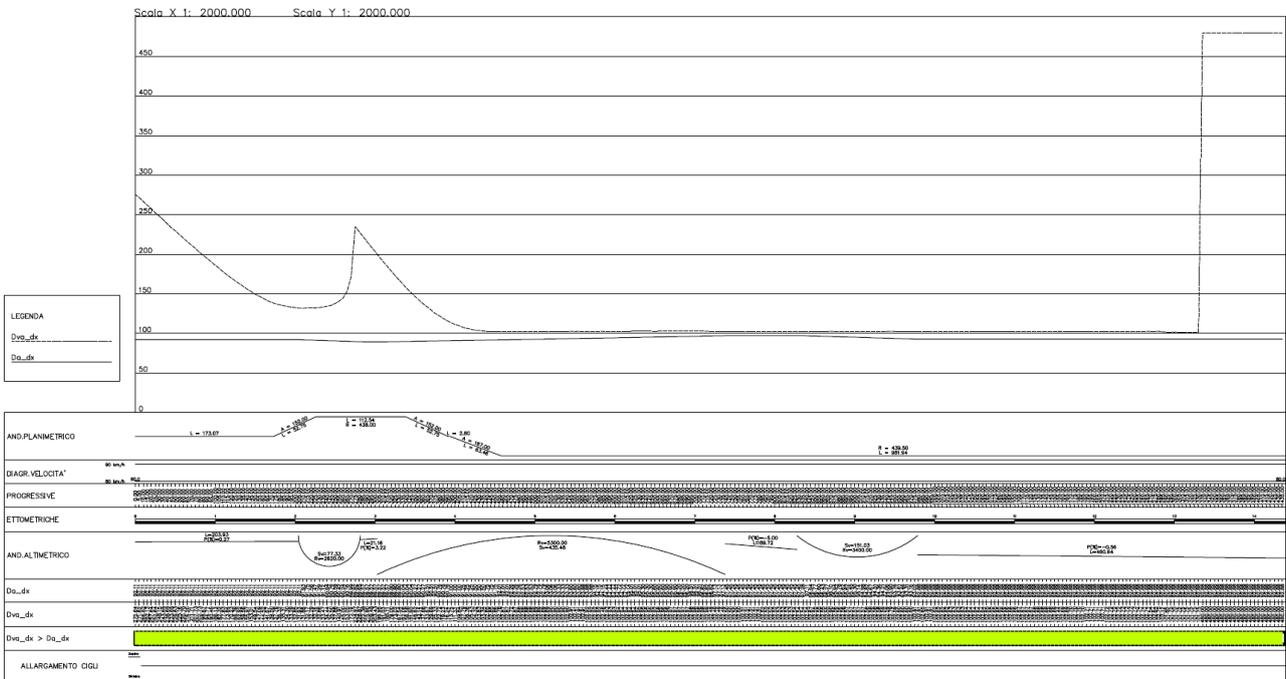


FIGURA 3.4-1 – DISTANZA DI VISIBILITA' PER L'ARRESTO

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

3.5. IRA04 – “RAMO SF”

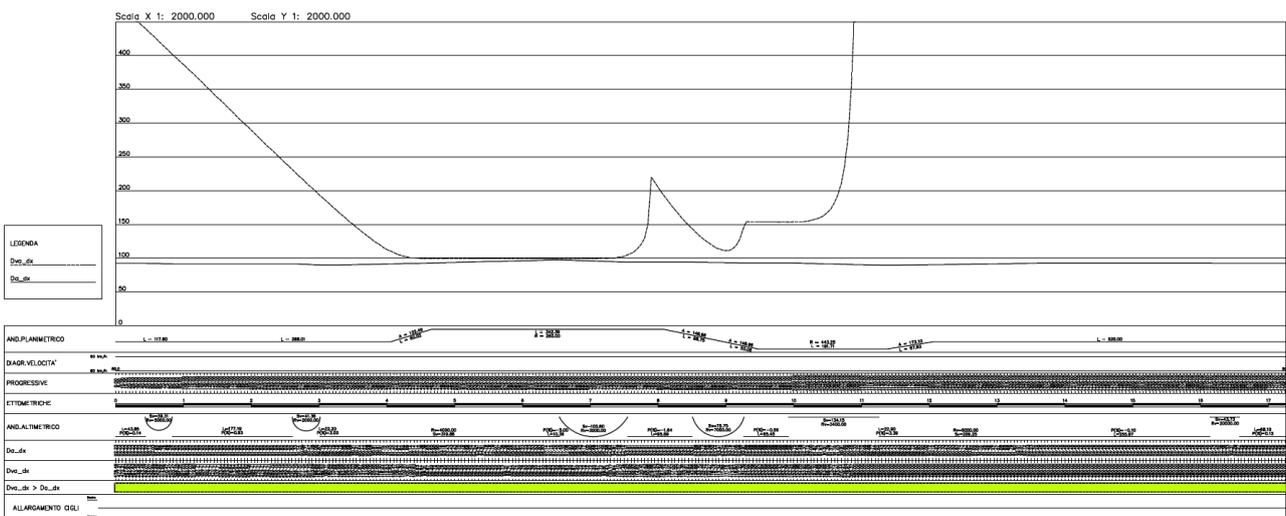


FIGURA 3.5-1 – DISTANZA DI VISIBILITA' PER L'ARRESTO

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

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;

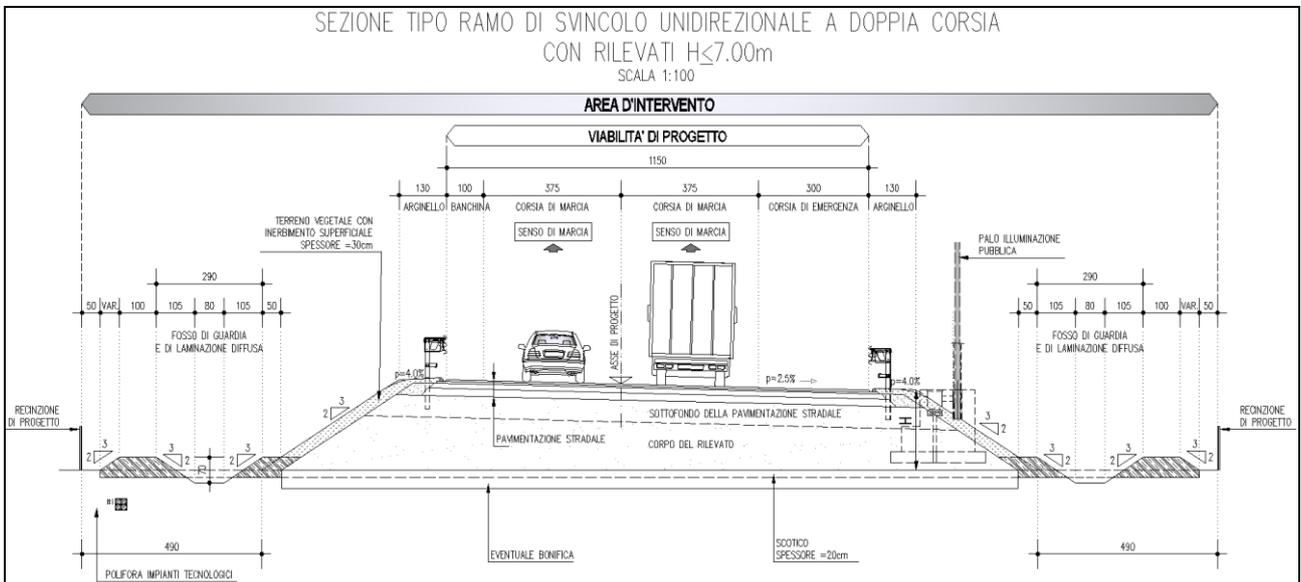
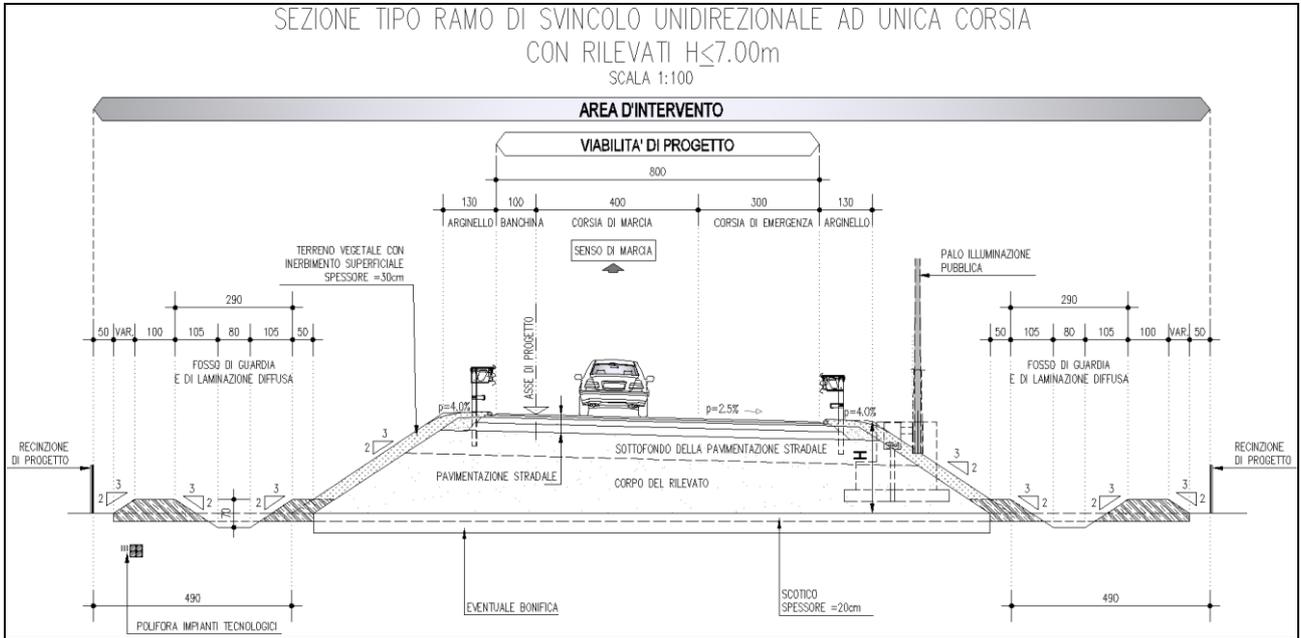


FIGURA 4-1 e 4-2 – SEZIONI TIPO PER RAMPE AD UNA E A DUE CORSIE

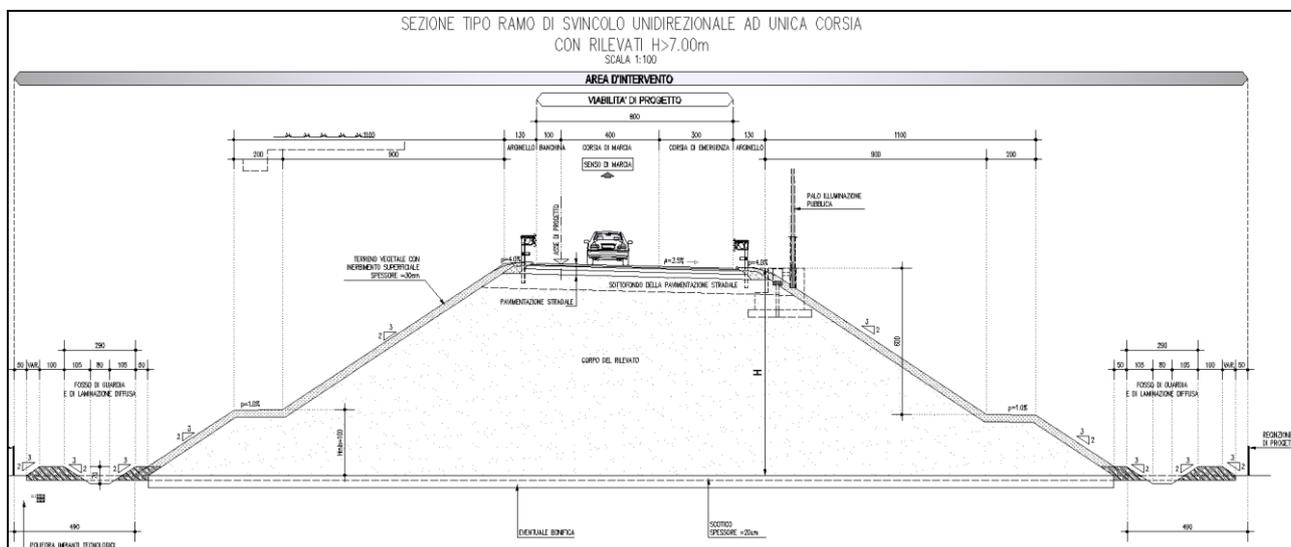


FIGURA 4-3 – SEZIONI TIPO PER RAMPE AD UNICA CORSIA CON H>7m

Per rilevati con altezza superiore di 7 m, è stata prevista la realizzazione di una ribanca li 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.

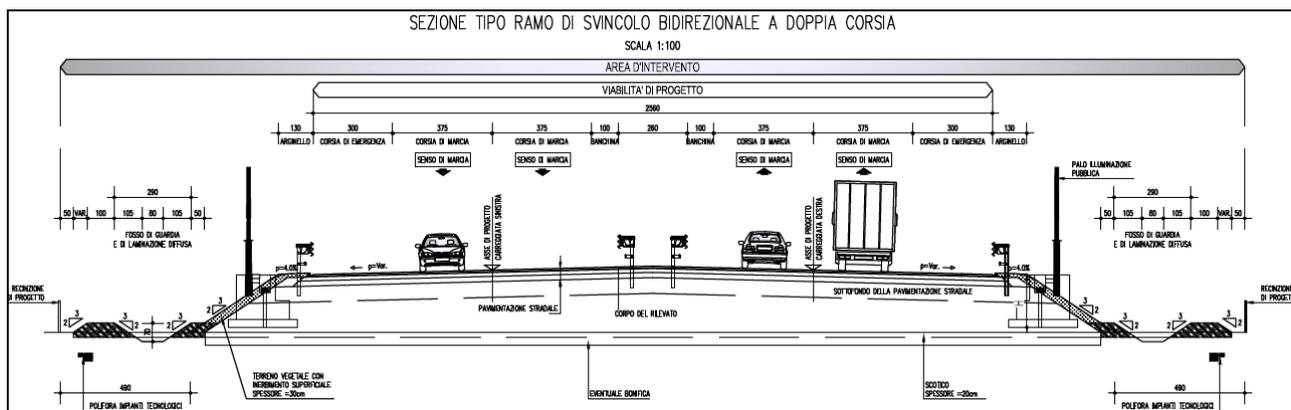


FIGURA 4-4 – SEZIONI TIPO PER RAMPE BIDIREZIONALI A DOPPIA CORSIA

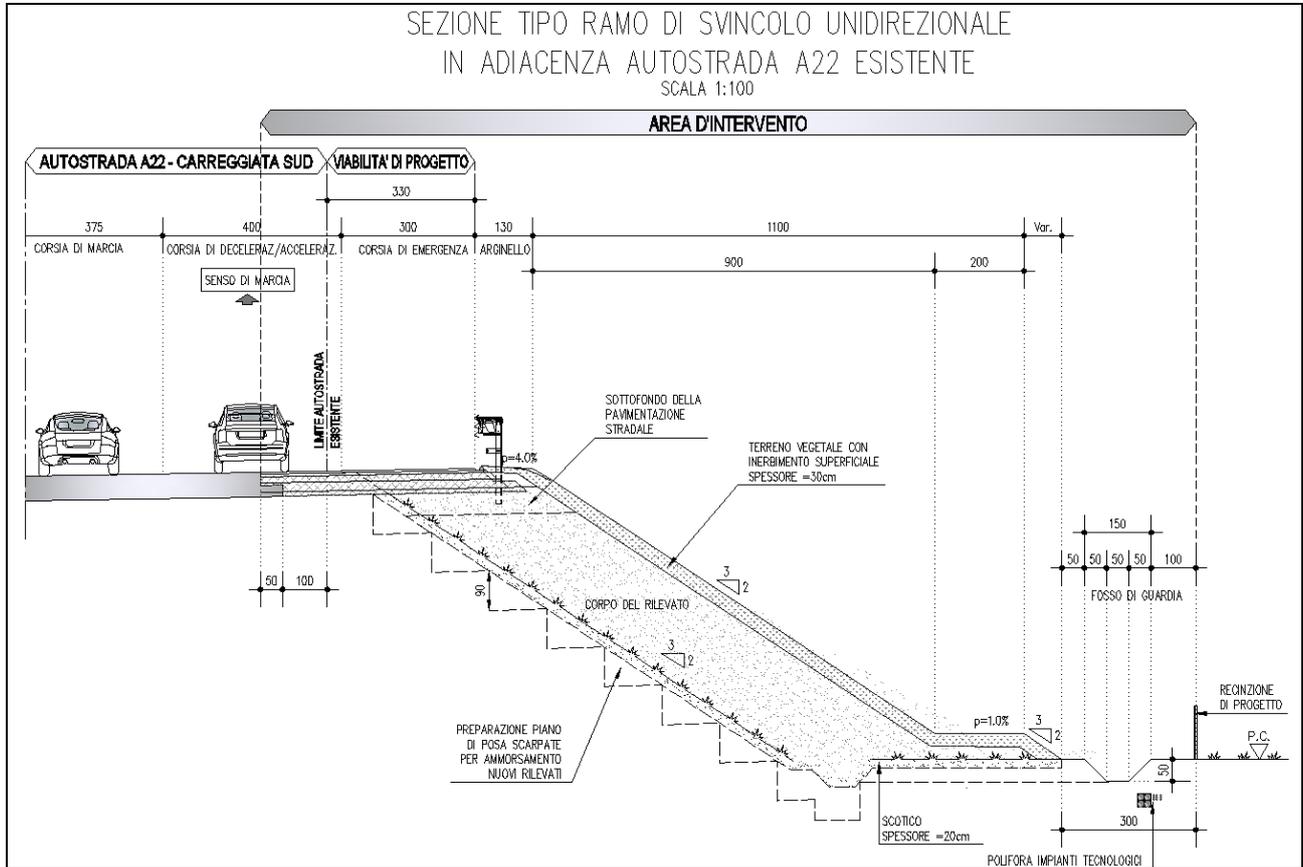


FIGURA 4-5 –SEZIONE IN ADIACENZA AD AUTOSTRADA A22 ESISTENTE