



REGIONE LIGURIA

autostrade // per l'italia

COLLEGAMENTO TRA LA VALFONTANABUONA
E L'AUTOSTRADA A12 GENOVA-ROMA

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTO STRADALE

RELAZIONE TECNICA STRADALE

**IL RESPONSABILE PROGETTAZIONE
SPECIALISTICA**

Ing. Gianluca Salvatore Spinazzola
Ord. Ingg. Milano N. 26796

RESPONSABILE UFFICIO STD

**IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE**

Ing. Sara Frisiani
Ord. Ingg. Genova N. 9810A

CAPO COMMESSA

IL DIRETTORE TECNICO

Ing. Maurizio Torresi
Ord. Ingg. Milano N. 16492
RESPONSABILE DIREZIONE OPERATIVA
TECNICA E PROGETTAZIONE

WBS	RIFERIMENTO ELABORATO							DATA:	REVISIONE	
	DIRETTORIO			FILE					n.	data
	codice commessa	N.Prog.	unita'	ufficio	n. progressivo	Rev.				
-	11001302		STPSTD	D0010			DICEMBRE 2014			
-							SCALA: -			

 Ingegneria europea	RESPONSABILE PROGETTO GENOVA	ELABORAZIONE GRAFICA A CURA DI :	
	Ing. Orlando Mazza Ord. Ingg. Pavia N. 1496	ELABORAZIONE PROGETTUALE A CURA DI :	
CONSULENZA A CURA DI :		IL RESPONSABILE UNITA' STP	Ing. Andrea Tanzi O.I. Parma N.1154

	VISTO DEL COMMITTENTE	VISTO DEL CONCEDENTE
	autostrade // per l'italia	
	R.U.P. - Ing. Andrea Frediani	Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti <small>DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI</small>

1. PREMESSA.....	4
2. L'INFRASTRUTTURA ESISTENTE	4
2.1 Autostrada A12	4
2.1.1 ASPETTI GEOMETRICI	4
2.1.1.1 Sezione tipo.....	4
2.1.1.2 Andamento plano-altimetrico	5
2.1.2 ANALISI DELLO STATO ATTUALE CON RIFERIMENTO AL DM 05.11.2001.....	7
2.1.2.1 Analisi Planimetrica.....	7
2.1.2.2 Analisi Altimetrica.....	8
2.1.2.3 Distanze di Visibilità.....	9
2.2 STRADA PROVINCIALE N.22	13
2.2.1 ASPETTI GEOMETRICI	13
2.2.1.1 Sezione tipo.....	13
2.2.1.2 Andamento plano-altimetrico	14
2.2.2 ANALISI DELLO STATO ATTUALE CON RIFERIMENTO AL DM 05.11.2001.....	17
2.2.2.1 Analisi Planimetrica.....	17
2.2.2.2 Analisi Altimetrica.....	20
2.2.2.3 Distanze di visibilità.....	21
3. IL PROGETTO	23
3.1 INQUADRAMENTO NORMATIVO	23
3.2 CRITERI PROGETTUALI.....	23
3.2.1 TRACCIATI	23
3.2.1.1 Caratteristiche planimetriche	23
3.2.1.2 Caratteristiche altimetriche	28
3.2.1.3 Analisi di visibilità.....	29
3.2.2 SVINCOLI	31
3.2.2.1 Geometria degli elementi modulari delle rampe	31
3.2.2.2 Sezioni tipo delle rampe e delle corsie specializzate	32
3.2.2.3 Sezioni tipo delle rampe e delle corsie specializzate	33

3.2.2.3.1	Corsie specializzate di diversione	33
3.2.2.3.2	Corsie specializzate di immissione	34
3.2.3	INTERSEZIONI DI TIPO ROTATORIO	36
3.2.3.1	Tipologie	36
3.2.3.2	Larghezza delle corsie	36
3.2.3.3	Geometria delle rotatorie	37
3.2.3.4	Distanze di visibilità	37
3.2.4	Dimensionamento funzionale delle intersezioni	38
3.1	ASSE AUTOSTRADALE	39
3.1.1	Aspetti geometrici dell'infrastruttura di progetto	39
3.1.1.1	Sezioni tipo	40
3.1.1.2	Andamento piano-altimetrico di progetto	41
3.1.2	Analisi del progetto con riferimento al DM 6792 del 05.11.2001	43
3.1.2.1	Analisi Planimetriche	43
3.1.2.2	Analisi Altimetriche	47
3.1.2.3	Distanze di visibilità	48
3.2	SVINCOLI	50
3.2.1	Sezioni tipo delle rampe e delle corsie specializzate	50
3.2.1.1	Analisi del progetto con riferimento al DM 19.04.2006	52
3.2.1.1.1	Analisi planimetriche	52
3.2.1.1.2	Analisi altimetriche	55
3.2.1.1.3	Distanze di visibilità	56
3.2.2	RAMPA PRINCIPALE	57
3.2.2.1	Sezioni tipo della rampa	58
3.2.2.2	Andamento piano-altimetrico di progetto	59
3.2.2.3	Analisi del progetto con riferimento al DM 19/04/2006	60
3.2.2.3.1	Analisi planimetrica e diagrammi di velocità	60
3.2.2.3.2	Analisi altimetriche	62
3.2.2.3.3	-Distanze di visibilità	63
3.3	IL PROGETTO DI ADEGUAMENTO S.P. N.22	63
3.3.1	ASSE STRADALE	64

3.3.1.1	Aspetti geometrici dell'infrastruttura di progetto.....	65
3.3.1.1.1	Sezione tipo.....	65
3.3.1.1.2	Andamento plano-altimetrico di progetto	66
3.3.1.2	Analisi del progetto con riferimento al DM 6792 del 05.11.2001	67
3.3.1.2.1	Analisi Planimetrica	67
3.3.1.2.2	Analisi Altimetrica	69
3.3.1.2.3	Distanze di Visibilità.....	70
3.3.2	VERIFICHE GEOMETRICHE DELLE ROTATORIE	71
3.3.2.1	Verifiche degli angoli di deviazione	71
3.3.2.2	Verifiche di visibilità	71
3.3.2.3	Verifiche di iscrivibilità dei veicoli.....	73

1. PREMESSA

Gli interventi a cui si riferisce la presente relazione riguardano la costruzione del "Collegamento tra la Valfontanabuona e l'autostrada A12 Genova-Roma".

In particolare, partendo da Sud, il progetto prevede l'innesto di un nuovo svincolo sulla Autostrada A12, tra le gallerie esistenti Giovanni Maggio, verso Genova, e Casalino, verso Livorno, per la realizzazione delle rampe di collegamento è necessario deviare l'attuale tracciato dell'A12, spostandolo in direzione sud-ovest.

Successivamente, salendo verso Nord, la strada si compone delle gallerie Caravaggio e Fontanabuona, intervallate da un tratto all'aperto in rilevato in corrispondenza della confluenza tra il Rio Gallo ed il Rio Serra.

Il progetto prevede quindi di localizzare la barriera di esazione del pedaggio nel tratto compreso tra l'imbocco della galleria Fontanabuona e l'intersezione con una rotatoria a tre rami in corrispondenza della S.P. n. 22 (rotatoria di Aveno).

L'intervento prevede successivamente l'utilizzo della S.P. n. 22, opportunamente adeguata, fino all'inizio dell'abitato di Moconesi, punto in cui è prevista la realizzazione di un nuovo attraversamento del Torrente Lavagna in variante rispetto al tracciato della viabilità esistente.

Infine si prevede l'innesto sulla SP n. 225 mediante una intersezione a rotatoria a tre rami (rotatoria di Moconesi).

2. L'INFRASTRUTTURA ESISTENTE

2.1 Autostrada A12

2.1.1 ASPETTI GEOMETRICI

2.1.1.1 Sezione tipo

L'attuale sezione tipo presenta una piattaforma pavimentata minima di circa 20.80m, composta da due corsie per senso di marcia pari a 3.50m, banchina di 2.00m, spartitraffico di dimensioni variabili con barriera antifonica integrata bifacciale, banchine interne di 0.25m(vedi fig.1). La pendenza trasversale in rettilineo risulta variabile da 1.50 a 2.00%.

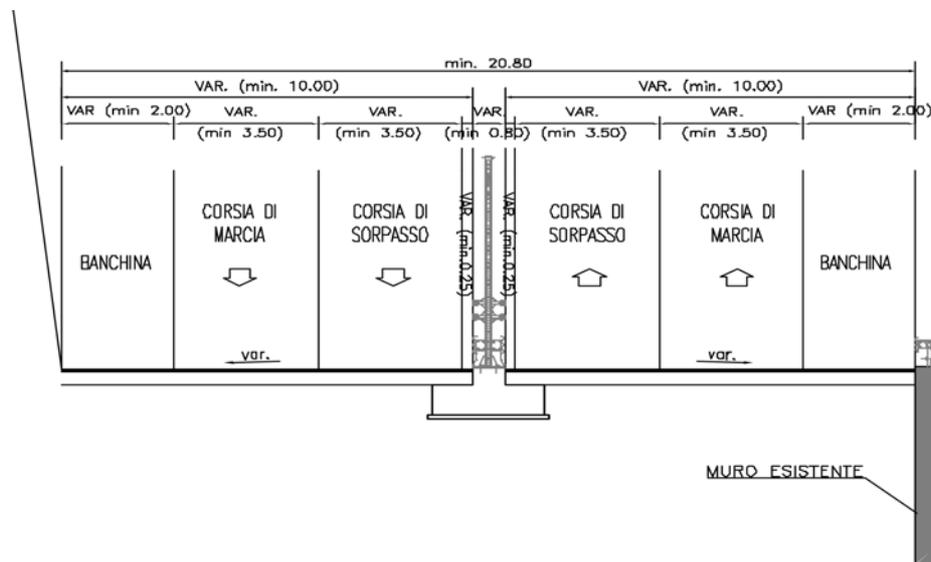


Figura 1–Sezione tipo esistente

2.1.1.2 Andamento plano-altimetrico

Il tracciato dell'A12 nel tratto di intervento compreso tra le gallerie Giovanni Maggio e Casalino, di sviluppo complessivo di circa 920m, è stato ricostruito sulla base dei rilievi celerimetrici dei cigli autostradali esistenti e dei disegni di contabilità (as built).

Gli assi planimetrici dell'attuale piattaforma stradale risultano costituiti da curve aventi raggio non molto ampio determinando quindi una discreta deviazione angolare.

Muovendosi dalla galleria Giovanni Maggio verso la Galleria Casalino in carreggiata Ovest (prog. km 26+280), il tracciato presenta tre curve di cui le prime due equiverse mentre la terza di verso opposto. Le prime due curve in destra risultano essere collegate da clotoidi ed avere raggi rispettivamente di 375.3m e 476.8m mentre l'elemento a curvatura variabile ha parametro A pari a 333.8. La terza curva che piega in sinistra, di raggio di 409.8m, risulta essere collegata alla curva precedente con una clotoide di flesso simmetrica di parametro A pari a 184.4. In uscita da quest'ultimo elemento geometrico a curvatura costante, per mezzo di una clotoide di transizione di parametro A pari a 192.7, ci si immette sull'unico rettilo di sviluppo 474m che, per mezzo di un'ultima curva in sinistra di raggio 1000m consente l'imbocco nella galleria Casalino (progr km. 27+194).

In carreggiata Est, a partire sempre dalla galleria Giovanni Maggio (prog. km 26+280), il tracciato inizia con due curve equiverse susseguite da un rettilo di lunghezza pari a 25.5m. Le due curve in destra non collegate da clotoidi risultano avere raggi rispettivamente di 585.75m e 440.00m. Al rettilo fa seguito una

curva sinistrorsa di raggio 390.00m che collega il rettilo di lunghezza 25.5m con un altro di sviluppo pari a 437.24m. Tra rettili e curva sono presenti due clotoidi di transizione di parametro A rispettivamente di 150 e 220. In uscita dall'ultimo rettilo, per mezzo di un'ultima curva in sinistra di raggio 450m, si imbocca la galleria Casalino (progr km. 27+194).

In Tabella 1 e 2 vengono sintetizzate le caratteristiche degli elementi planimetrici che compongono rispettivamente gli assi autostradali per le carreggiate Ovest ed Est. In colonna (5) è riportato il tipo di elemento planimetrico considerato (R = Rettifilo, C = Curva Circolare). In colonna(6) il parametro di ogni elemento mentre in colonna (7) è indicato il verso di percorrenza delle curve circolari nella direzione delle progressive crescenti (DX = curva destrorsa, SX = curva sinistrorsa). Infine in colonna (8) sono indicati i valori di pendenza trasversale delle curve circolari.

Elem	ProgrInizio (m)	ProgrFine (m)	Lungh. (m)	TipoElem	Parametro	Vs	ic
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	26280	26290.68	10.687	C	375.30	DX	1.20
2	26290.687	26353.89	63.207	AC	333.836		
3	26353.89	26376.93	23.035	C	476.783	DX	4.94
4	26376.93	26448.24	71.310	AF	184.39		
5	26448.24	26531.20	82.963	AF	184.39		
6	26531.202	26615.16	83.957	C	409.814	SX	6.08
7	26615.16	26705.77	90.614	AT	192.70		
8	26705.772	27179.83	474.058	R			
9	27179.83	27193.54	13.709	C	1000.00	SX	3.66

Tabella 1 - Riepilogo caratteristiche planimetriche carreggiata Ovest

Elem	ProgrInizio (m)	ProgrFine (m)	Lungh. (m)	TipoElem	Parametro	Vs	ic
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	26280	26298.52	18.522	C	585.75	DX	3.86
2	26298.52	26431.37	132.844	C	440	DX	5.43
3	26431.37	26456.86	25.491	R			
4	26456.86	26514.55	57.692	AT	150		
5	26514.55	26576.54	61.989	C	390	SX	2.55
6	26576.54	26700.64	124.103	AT	220		
7	26700.64	27137.88	437.241	R			
8	27137.88	27180.57	42.684	C	450	SX	3.74

Tabella 2 - Riepilogo caratteristiche planimetriche carreggiata Est

Le pendenze trasversali riportate sono quelle desunte dai rilievi topografici e pertanto sono da considerarsi valori reali medi. Sulla base di questi valori si sono determinate le velocità limite di sbandamento .

Con riferimento all'andamento altimetrico i tracciati risultano complessivamente con pendenza longitudinale media di circa il -4%.

Procedendo dalla galleria Giovanni Maggio alla galleria Casalino in carreggiata Ovest sono presenti 3 livellette tutte in discesa con pendenza rispettivamente di -0.64%, -2.81% e -4.04%. Le tre livellette sono raccordate con due raccordi verticali convessi parabolici di raggio rispettivamente di 3000m e 10000m.

In carreggiata Est sono presenti 2 livellette entrambe in discesa con pendenza rispettivamente di -1.27% e -4.04%. Le due livellette sono raccordate con un raccordo verticale convesso parabolico di raggio pari a 5500m.

2.1.2 ANALISI DELLO STATO ATTUALE CON RIFERIMENTO AL DM 05.11.2001

2.1.2.1 *Analisi Planimetrica*

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

Criteria di Verifica delle caratteristiche planimetriche

(a) - Raggio minimo delle curve planimetriche

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

(c) - Compatibilità tra i raggi di due curve successive

(d) - Lunghezza massima dei rettili

(e) - Lunghezza minima dei rettili

(f1) - Congruenza del diagramma delle velocità nel passaggio da tratti con $V_{p,max}$ a curve a $V_p < V_{p,max}$

(f2) - Congruenza del diagramma delle velocità nel passaggio fra due curve successive ($V_{p1} > V_{p2}$)

(g) - Lunghezza minima delle curve circolari

(h1) - Verifica del parametro A delle Clotoidi: Limitazione del contraccollo

(h2) - Verifica del parametro A delle Clotoidi Sovrapendenza longitudinale delle linee di estremità

(h3) - Verifica del parametro A delle Clotoidi : Criterio Ottico

Come mostrato nelle seguenti tabelle, con riferimento alle caratteristiche planimetriche, i tracciati presentano particolari criticità rispetto a quanto richiesto dalla normativa di riferimento. Gli elementi di diversità sono rappresentati in alcuni punti dall'assenza di curve a raggio variabile (raccordi clotoidici), il mancato rispetto della verifica al contraccollo per una una clotoide in ambo le direzioni e il mancato rispetto degli sviluppi minimi per gli elementi geometrici a curvatura costante.

Elem	Pkl (m)	PkF (m)	L. (m)	Elem	Verso	Par.	Vs	ic	Vp	Lmin/ max	Pmin/ max	Ver.	Note
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(1)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	26280	26290.69	10.687	C	DX	375.30	DX	1.20	82.4	57.24		NO	(g)
2	26290.69	26353.89	63.207	AC		333.84			89.5			NO	Err. AE/AU
3	26353.89	26376.93	23.035	C	DX	476.78	DX	4.94	92.1	63.96		NO	(g) (i)
4	26376.93	26448.24	71.310	AF		184.39			100.1			NO	Err. AE/AU
5	26448.24	26531.2	82.963	AF		184.39			102.2				
6	26531.2	26615.16	83.957	C	SX	409.81	SX	6.08	95.5		458.49	NO	(c) (f2) [-30,6 km/h]
7	26615.16	26705.77	90.614	AT		192.70			103.6		217.28	NO	(h1)
8	26705.77	27179.83	474.058	R					135.4				
9	27179.83	27193.54	13.709	C	SX	1000.00	SX	3.66	126.1	87.60		NO	(g) (i)

Tabella 2a – Verifica caratteristiche planimetriche carreggiata Ovest

Elem	Pkl (m)	PkF (m)	L. (m)	Elem	Verso	Par.	Vs	ic	Vp	Lmin/ max	Pmin/ max	Ver.	Note
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(1)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	26280	26298.52	18.522	C	DX	585.75	DX	3.86	98.7	68.56		NO	(g)
2	26298.52	26431.37	132.844	C	DX	440.00	DX	5.43	96.8				(i)
3	26431.37	26456.86	25.491	R					97.6				
4	26456.86	26514.55	57.692	AT		150.00			95.6		166.97	NO	(h1)
5	26514.55	26576.54	61.989	C	SX	390.00	SX	2.55	89.2				
6	26576.54	26700.64	124.103	AT		220.00			101.6				
7	26700.64	27137.88	437.241	R					119.2				
8	27137.88	27180.57	42.684	C	SX	450.00	SX	3.74	93.8	65.16		NO	(g) (i)

Tabella 2b – Verifica caratteristiche planimetriche carreggiata Est

2.1.2.2 Analisi Altimetrica

Criteria di Verifica delle caratteristiche altimetriche

(i) - Pendenze longitudinali massime

(j) - Raccordi verticali convessi

(k) - Raccordi verticali concavi

Con riferimento all'andamento altimetrico del tracciato, la pendenza massima delle livellette è pari al 4.04% per entrambi le carreggiate. Tale valore è sempre inferiore al massimo imposto dalla normativa che richiede, per strade di tipo A – Autostrade extraurbane, di non superare la pendenza del 5%.

I raccordi verticali sono stati verificati per entrambi i tracciati in funzione della distanza di visibilità per l'arresto, l'analisi è stata effettuata in condizioni di pavimentazione bagnata.

La carreggiata Ovest, affinché il primo raccordo verticale ($R=3000m$) possa essere verificato, necessita di una riduzione della velocità da 102km/h a 94.9 km/h mentre il secondo ($R=10000m$) non presenta criticità.

La carreggiata Est ha un raccordo verticale di raggio 5500 che garantisce la distanza di visibilità per l'arresto solo per una velocità di 87.5 km/h anziché i 97.6 km/h desunti dal diagramma delle velocità.

In Tabella 3 e 4 sono riportati i risultati delle verifiche dei raccordi verticali concavi e convessi rispetto alla distanza di visibilità per l'arresto. In colonna (2) è riportato il tipo di raccordo altimetrico considerato utilizzando le seguenti abbreviazioni:

- S = Raccordo verticale convesso (Sacca)
- D = Raccordo verticale concavo (Dosso)

In colonna (3) è indicata la progressiva del vertice, nelle colonne (7), (8) la pendenza di ogni livelletta. Infine, in colonna (9) il valore del raggio esistente, in colonna (12) il valore minimo per garantire la distanza di arresto calcolata per la velocità di 120 km/h ed in colonna (13) il valore di velocità ammissibile (velocità di progetto a cui corrisponde una distanza di arresto pari alla distanza di visuale libera effettivamente disponibile).

N	D/S	Pr.Vert	da	a	L	i1	i2	Rv	Vp	D	Rv,min	Vamm
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	D	26314	2	67	65.02	-0.64	-2.81	3000	102.0	131.6	4214	94.9
2	D	26448	107	230	123.03	-2.81	-4.04	10000	102.2	129.5	-	

Tabella 3 – Riepilogo caratteristiche altimetriche carreggiata Ovest

N	D/S	Pr.Vert	da	a	L	i1	i2	Rv	Vp	D	Rv,min	Vamm
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(1)	(6)	(7)	(1)	(8)	(9)	(12)	(14)
1	D	26382	25	178	152.55	-1.27	-4.04	5500	97.6	165.9	7384	87.5

Tabella 4 – Riepilogo caratteristiche altimetriche carreggiata Est

2.1.2.3 Distanze di Visibilità

Per quanto riguarda le velocità di percorrenza, come risulta dai diagrammi delle velocità delle Figure 2 e 3, i tracciati non raggiungono il limite superiore dell'intervallo di velocità di progetto per strade di categoria A (90 – 140 km/h) ma raggiungono, per la direzione Ovest la velocità massima di 137.1 km/h e per la direzione Est di 124.6 km/h. Gli andamenti dei diagrammi delle velocità sono pressoché congruenti con quanto previsto dalla normativa di riferimento in quanto la variazione di velocità in corrispondenza delle curve circolari è

sempre inferiore a 20 km/h fatto salvo per la direzione Ovest dove, in corrispondenza della curva sinistrorsa di raggio 409.81m, tale differenza raggiunge i 30.6 km/h.

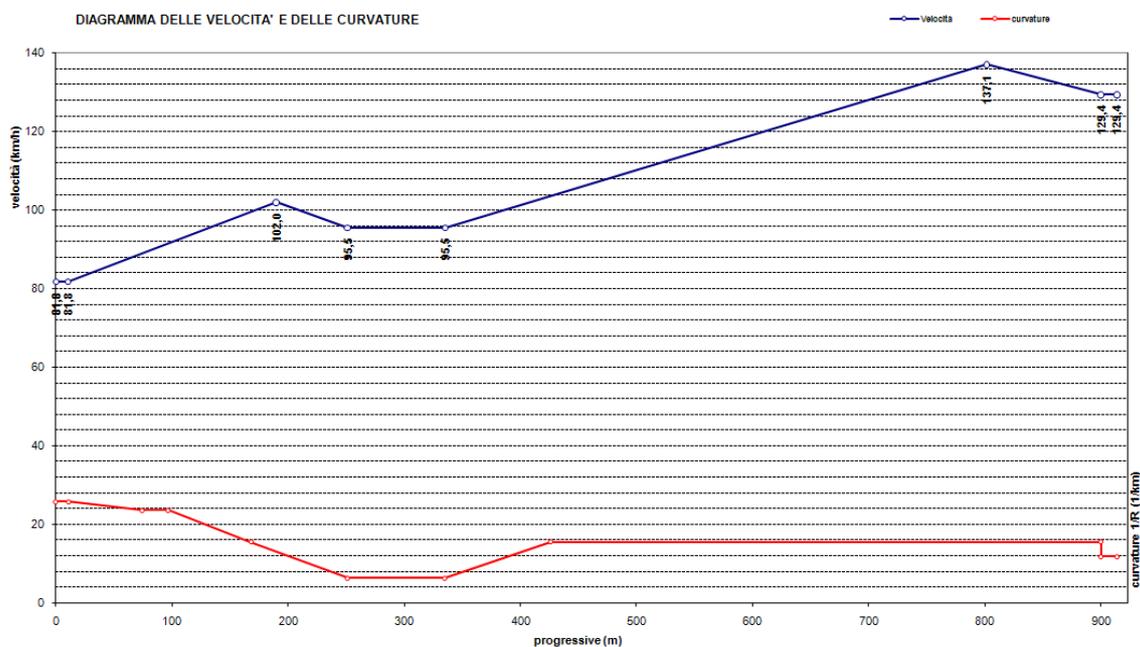


Figura 2 – Diagramma delle velocità e delle curvature carreggiata Ovest

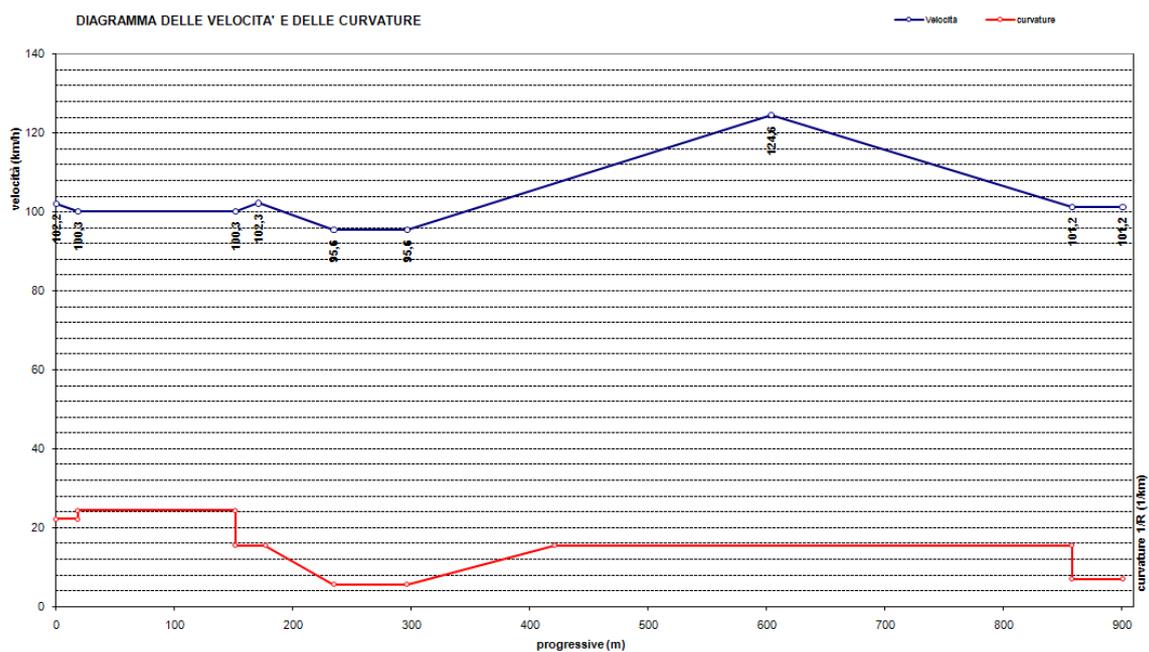


Figura 3 – Diagramma delle velocità e delle curvature carreggiata Est

L'analisi del tracciato esistente e la verifica di rispondenza alla norma di riferimento 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 autostradale esistente.

L'analisi è stata sviluppata in riferimento all'intero tratto, considerando le diverse tipologie di sezioni che si alternano. La distanza di arresto, pari allo spazio minimo necessario perché un conducente possa arrestare il veicolo in condizione di sicurezza davanti ad un ostacolo imprevisto, è stata determinata adottando una procedura che tiene conto del nuovo quadro di riferimento rappresentato dalla disposizione del Codice della Strada, introdotta dal D.Lgs. 15 gennaio 2002 n.9, che limita a 110 km/h la velocità massima consentita in autostrada in presenza di pioggia.

Visto che il D.M. 05/11/2001 specifica che i valori di aderenza da adottare nel calcolo delle distanze di arresto (precisati nello stesso testo della norma, vedi anche tabella 5) sono riferiti a condizioni di pavimentazione bagnata, si è ritenuto che l'introduzione del limite di velocità di 110 km/h in presenza di pioggia consentisse di calcolare le distanze di arresto, limitando superiormente la velocità di progetto dei singoli elementi del tracciato a 120 km/h. Tale valore è stato determinato in analogia a quanto indicato nella norma, che prescrive di effettuare le verifiche adottando un valore massimo della velocità di progetto pari al limite di velocità legale previsto dal Codice della Strada incrementato di 10 km/h, al fine di mantenere il fattore di sicurezza adottato (e quindi il livello di rischio accettato) dalla norma stessa.

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

Tabella 5 – DM 6792/2001, coefficienti di aderenza impegnabile longitudinalmente

Nel calcolo delle distanze di arresto si è fatto anche riferimento alla condizione di pavimentazione asciutta; le verifiche sono state effettuate considerando che il tracciato sia percorso alla velocità di progetto, secondo il diagramma delle velocità, ed adottando valori di aderenza su pavimentazione asciutta. Per questi ultimi non essendo forniti dal D.M. 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.

Per completezza è stata valutata (e confrontata con la distanza di visuale libera) anche anche la distanza di arresto calcolata con riferimento alla velocità di progetto da diagramma delle velocità adottando i coefficienti di aderenza da norma. Per il calcolo è stata utilizzata la formula riportata al paragrafo 5.1.2. del DM 05/11/2001. Si è valutata la distanza di arresto con la seguente espressione:

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

dove:

D_1 = spazio percorso nel tempo τ

D_2 = spazio di frenatura

V_0 = velocità del veicolo all'inizio della frenatura [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/s²]

Ra = 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]

In ambo le carreggiate sono presenti due tratti in cui la distanza di visuale libera in corsia risulta inferiore alla distanza di arresto. Nelle analisi svolte l'ostacolo alla visibilità sono rappresentate dalle barriere laterali.

Nelle Tabelle 6 e 7 viene riportata l'estensione e l'esatta ubicazione di questi ambiti, insieme ai valori di distanza di visuale libera planimetrica (DVL), distanza di visibilità (D_a), velocità ammissibile (velocità a cui corrisponde una D_a pari alla DVL effettivamente disponibile) e valore dell'allargamento della banchina in sinistra necessario per ricondurre la visuale libera ai valori di distanza di arresto calcolati per la velocità di desunta dal diagramma delle velocità, determinati con riferimento alla sezione trasversale tipo esistente.

Progressiva inizio carenza visibilità	Progressiva fine carenza visibilità	Lunghezza tratto con carenza di visibilità (m)	DVL (m)	Da (m)	Vamm (km/h)	Allargamento massimo (m)
26370	26485	115	84	128	75	1.78
26625	26695	70	118	128	100	0.33

Tabella 6 – Risultati analisi di visibilità planimetrica carreggiata Ovest

Progressiva inizio carenza visibilità	Progressiva fine carenza visibilità	Lunghezza tratto con carenza di visibilità (m)	DVL (m)	Da (m)	Vamm (km/h)	Allargamento massimo (m)
26280	26330	50	126	130	96	0.58
26410	26588	178	79	132	69	1.58

Tabella 7 – Risultati analisi di visibilità planimetrica carreggiata Est

2.2 STRADA PROVINCIALE N.22

2.2.1 ASPETTI GEOMETRICI

Il progetto di collegamento tra Val Fontanabuona e l'autostrada A12 prevede la riqualifica di un tratto della Strada Provinciale n. 22. Il tracciato si estende dall'attuale intersezione a raso semaforizzata sulla Strada Provinciale n. 225 ed ha uno sviluppo di circa 1500 m.

La infrastruttura esistente, oltrepassato il ponte sul Torrente Lavagna, interdice il transito ai mezzi di peso superiori alle 14 tonnellate.

2.2.1.1 Sezione tipo

L'attuale sezione tipo, riportata nella figura 4, presenta una piattaforma di circa 5.20m, composta da una corsia per senso di marcia pari a 2.45m con banchine esterne di 0.15m. La sezione è a "mezza costa" e priva di barriere di protezione laterali.

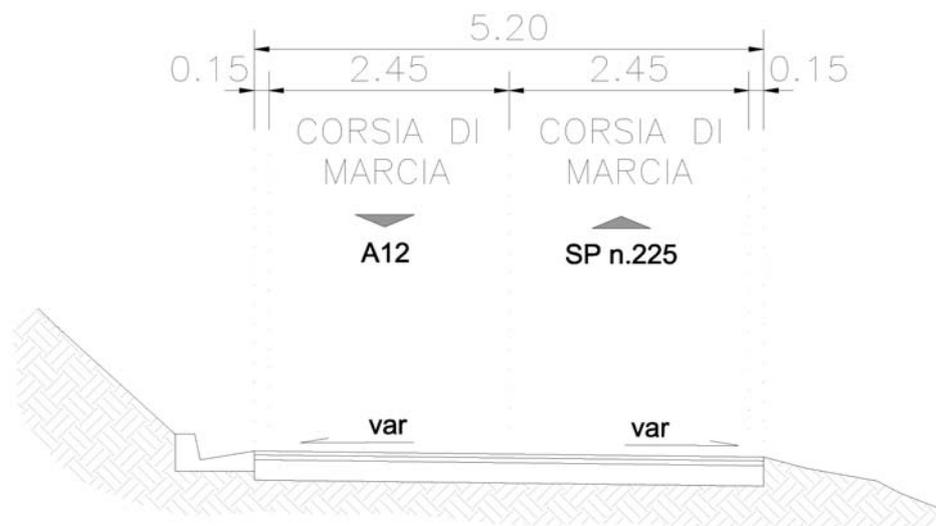


Figura 4 – Sezione tipo

La pendenza trasversale in rettilifo risulta variabile da 1.60 a 2.00%.

2.2.1.2 Andamento plano-altimetrico

Il tracciato dell'SP 22 è stato ricostruito nel tratto interessato dall'intervento sulla base dei rilievi celerimetrici dei cigli esistenti dell'attuale infrastruttura.

Il tratto iniziale, partendo dalla rotatoria di svincolo sud, a causa del succedersi di curve di piccolo raggio e ampio sviluppo risulta particolarmente tortuoso e privo di una adeguata sicurezza vista l'assenza di opportuni sistemi di ritenuta e adeguati allargamenti per garantire la visuale per l'arresto. Il tracciato esistente inizia con due rettifili collegati da una curva in destra di raggio 150m, si ha poi una sequenza di quattro curve di qui, le prime due, rispettivamente in sinistra e in destra di raggio 18.67m e 14.58m, tali valori sono molto al di sotto dei minimi previsti dalla normativa vigente per questa categoria di strada. Si hanno poi altre due curve rispettivamente di raggio 30 m in destra e 48 m in sinistra. Fatto salvo questo primo tratto iniziale nella restante infrastruttura il raggio di curvatura minimo è situato circa alla progressiva km 0+285 dove si ha una curva di raggio 25m in sinistra. Procedendo le curve hanno un raggio medio di 50m. La situazione migliora sensibilmente dalla progressiva km 0+750 dove si incontrano lunghi rettifili e curve di raggio non inferiore ai 132m con raggi di curvatura medi di 250m. Tutte le curve risultano essere intervallate da rettifili con la conseguente assenza di punti di flesso e di continuità; pertanto lungo l'infrastruttura si segnala l'assenza di curve a raggio variabile.

In Tabella 8 vengono sintetizzate le caratteristiche degli elementi planimetrici che compongono l'asse oggetto di riqualifica. In colonna (5) è riportato il tipo di elemento planimetrico considerato (R = Rettifilo, C =

Curva Circolare). In colonna (7) è indicato il verso di percorrenza delle curve circolari nella direzione delle progressive crescenti (DX = curva destrorsa, SX = curva sinistrorsa).

Elem	ProgrInizio (m)	ProgrFine (m)	Lungh. (m)	TipoElem	Parametro	Vs	ic
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	0.000	19.621	19.621	R			
2	19.621	30.516	10.894	C	150.00	DX	4.81
3	30.516	55.745	25.230	R			
4	55.745	84.374	28.629	C	18.67	SX	5.97
5	84.374	109.328	24.953	R			
6	109.328	125.891	16.563	C	14.58	DX	6.99
7	125.891	141.455	15.564	R			
8	141.455	160.187	18.732	C	30.00	DX	6.16
9	160.187	167.563	7.377	R			
10	167.563	202.674	35.111	C	48.00	SX	1.24
11	202.674	242.635	39.961	R			
12	242.635	257.465	14.830	C	58.00	SX	0.64
13	257.465	281.444	23.979	R			
14	281.444	292.695	11.252	C	25.00	SX	3.19
15	292.695	305.338	12.643	R			
16	305.338	324.383	19.045	C	35.00	DX	3.16
17	324.383	332.774	8.391	R			
18	332.774	356.792	24.018	C	60.00	DX	0.59
19	356.792	397.952	41.160	R			
20	397.952	438.898	40.946	C	58.00	DX	3.42
21	438.898	457.558	18.660	R			
22	457.558	540.536	82.978	C	68.00	SX	2.66
23	540.536	554.809	14.274	R			
24	554.809	576.405	21.596	C	55.00	SX	2.19
25	576.405	592.355	15.950	R			
26	592.355	605.186	12.830	C	150.00	SX	0.70
27	605.186	614.820	9.635	R			
28	614.820	694.770	79.950	C	52.00	DX	3.21
29	694.770	722.052	27.283	R			
30	722.052	756.537	34.484	C	38.00	SX	3.49
31	756.537	810.002	53.465	R			
32	810.002	818.834	8.832	C	200.00	SX	0.27
33	818.834	837.930	19.096	R			
34	837.930	862.971	25.041	C	50.00	SX	1.29
35	862.971	873.842	10.871	C	38.00	DX	3.00
36	873.842	902.137	28.295	R			
37	902.137	968.232	66.095	C	132.00	DX	1.43
38	968.232	1,026.398	58.166	R			
39	1,026.398	1,057.776	31.378	C	300.00	DX	1.01
40	1,057.776	1,102.412	44.636	R			

Elem	ProgrInizio (m)	ProgrFine (m)	Lungh. (m)	TipoElem	Parametro	Vs	ic
41	1,102.412	1,111.608	9.195	C	200.00	DX	1.39
42	1,111.608	1,174.397	62.789	R			
43	1,174.397	1,179.848	5.452	C	250.00	SX	2.99
44	1,179.848	1,404.953	225.104	R			
45	1,404.953	1,474.694	69.741	C	250.00	SX	1.05
46	1,474.694	1,519.482	44.788	R			
47	1,519.482	1,530.141	10.659	C	250.00	DX	1.07
48	1,530.141	1,642.347	112.206	R			

Tabella 8 - Riepilogo caratteristiche planimetriche

Con riferimento all'andamento altimetrico il tracciato risulta complessivamente con pendenza longitudinale media pari al 6%. Procedendo da sud verso l'attuale SP225 sono presenti 4 livellette tutte in discesa con pendenza rispettivamente di -7.05%, -4.59%, -5.82% e -0.01%. Le quattro livellette sono raccordate con tre raccordi verticali parabolici di raggio rispettivamente di 3200m concavo, 15000m convesso e 3200m concavo.

2.2.2 ANALISI DELLO STATO ATTUALE CON RIFERIMENTO AL DM 05.11.2001

2.2.2.1 Analisi Planimetrica

Vengono di seguito riportati in forma tabellare i dati plano-altimetrici dell'asse della SP n.22 esistente ed i risultati delle verifiche di rispondenza alla normativa di riferimento DM 05/11/2001 prot. N° 6792, con l'indicazione degli elementi non rispondenti in riferimento ai parametri di seguito descritti.

Le verifiche sono state condotte assimilando la categoria della viabilità ad una tipo F, pertanto tutti gli elementi geometrici esistenti vengono analizzati considerando i corrispondenti valori indicati dalla normativa per la sopradetta tipologia.

Criteria di Verifica delle caratteristiche planimetriche

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

Criteria di Verifica delle caratteristiche altimetriche

- (i) - Pendenze longitudinali massime
- (j) - Raccordi verticali convessi
- (k) - Raccordi verticali concavi

Come nel seguito mostrato, in riferimento alle caratteristiche planimetriche, il tracciato presenta particolari criticità rispetto a quanto richiesto dalla normativa di riferimento. Si segnala in particolare l'assenza di clotoidi, il non rispetto dei raggi minimi e l'assenza di sviluppi adeguati negli elementi a curvatura costante.

Elem	Pkl (m)	PkF (m)	L. (m)	Elem	Verso	Par.	ic	Vp	Lmin/	Pmin/	Ver.	Note
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(1)	(6)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	
1	0.000	19.621	19.621	R				43.5				
2	19.621	30.516	10.894	C	DX	150.00	4.81	37.7	26.18		NO	(g)
3	30.516	55.745	25.230	R				34.5				
4	55.745	84.374	28.629	C	SX	18.67	5.97	27.0		44.99	NO	(a)
5	84.374	109.328	24.953	R				30.3				
6	109.328	125.891	16.563	C	DX	14.58	6.99	24.6	17.11	102.78	NO	(a) (c) (g)
7	125.891	141.455	15.564	R				30.0				
8	141.455	160.187	18.732	C	DX	30.00	6.16	33.2	23.03	44.99	NO	(a) (g)
9	160.187	167.563	7.377	R				35.2				
10	167.563	202.674	35.111	C	SX	48.00	1.24	37.4				
11	202.674	242.635	39.961	R				43.7				
12	242.635	257.465	14.830	C	SX	58.00	0.64	40.0	27.74		NO	(g)
13	257.465	281.444	23.979	R				36.4				
14	281.444	292.695	11.252	C	SX	25.00	3.19	29.2	20.29	44.99	NO	(a) (c) (g)
15	292.695	305.338	12.643	R				33.2				
16	305.338	324.383	19.045	C	DX	35.00	3.16	33.8	23.47	44.99	NO	(a) (c) (g)
17	324.383	332.774	8.391	R				36.0				
18	332.774	356.792	24.018	C	DX	60.00	0.59	40.5	28.10		NO	(g)
19	356.792	397.952	41.160	R				46.0				
20	397.952	438.898	40.946	C	DX	58.00	3.42	42.0				
21	438.898	457.558	18.660	R				45.3				
22	457.558	540.536	82.978	C	SX	68.00	2.66	44.3				
23	540.536	554.809	14.274	R				43.7				
24	554.809	576.405	21.596	C	SX	55.00	2.19	40.2	27.92		NO	(g)
25	576.405	592.355	15.950	R				43.9				
26	592.355	605.186	12.830	C	SX	150.00	0.70	44.8	31.08		NO	(g)
27	605.186	614.820	9.635	R				42.4				
28	614.820	694.770	79.950	C	DX	52.00	3.21	40.0				
29	694.770	722.052	27.283	R				41.2				
30	722.052	756.537	34.484	C	SX	38.00	3.49	35.2		102.78	NO	(a) (c)
31	756.537	810.002	53.465	R				46.7				
32	810.002	818.834	8.832	C	SX	200.00	0.27	44.9	31.15		NO	(g)
33	818.834	837.930	19.096	R				42.7				
34	837.930	862.971	25.041	C	SX	50.00	1.29	38.0	26.41		NO	(g)
35	862.971	873.842	10.871	C	DX	38.00	3.00	34.9	24.24	128.58	NO	(a) (c) (g)
36	873.842	902.137	28.295	R				41.3				
37	902.137	968.232	66.095	C	DX	132.00	1.43	56.2				
38	968.232	1,026.398	58.166	R				65.6				
39	1,026.398	1,057.776	31.378	C	DX	300.00	1.01	70.7	49.08		NO	(g)
40	1,057.776	1,102.412	44.636	R				71.6				
41	1,102.412	1,111.608	9.195	C	DX	200.00	1.39	65.8	45.71		NO	(g)
42	1,111.608	1,174.397	62.789	R				74.5				
43	1,174.397	1,179.848	5.452	C	SX	250.00	2.99	74.0	51.35		NO	(g)
44	1,179.848	1,404.953	225.104	R				87.1				
45	1,404.953	1,474.694	69.741	C	SX	250.00	1.05	70.9				
46	1,474.694	1,519.482	44.788	R				74.1				
47	1,519.482	1,530.141	10.659	C	DX	250.00	1.07	70.9	49.25		NO	(g)
48	1,530.141	1,642.347	112.206	R				85.9				

Tabella 9 – Verifica caratteristiche planimetriche progressive crescenti

Elem	ProgrInizio (m)	ProgrFine (m)	Lungh. (m)	Tipo Elem	Parametro	Vs	ic	Vp	Lmin/max	Pmin/max	Verifica	Note
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	0.000	19.621	19.621	R				43.5				
2	19.621	30.516	10.894	C	150.00	DX	4.81	37.7	26.18		NO	(g)
3	30.516	55.745	25.230	R				34.5				
4	55.745	84.374	28.629	C	18.67	SX	5.97	27.0		44.99	NO	(a)
5	84.374	109.328	24.953	R				30.3				
6	109.328	125.891	16.563	C	14.58	DX	6.99	24.6	17.11	44.99	NO	(a) (c) (g)
7	125.891	141.455	15.564	R				30.0				
8	141.455	160.187	18.732	C	30.00	DX	6.16	33.2	23.03	44.99	NO	(a) (c) (g)
9	160.187	167.563	7.377	R				35.2				
10	167.563	202.674	35.111	C	48.00	SX	1.24	37.4				
11	202.674	242.635	39.961	R				43.7				
12	242.635	257.465	14.830	C	58.00	SX	0.64	40.0	27.74		NO	(g)
13	257.465	281.444	23.979	R				36.4				
14	281.444	292.695	11.252	C	25.00	SX	3.19	29.2	20.29	44.99	NO	(a) (c) (g)
15	292.695	305.338	12.643	R				33.2				
16	305.338	324.383	19.045	C	35.00	DX	3.16	33.8	23.47	44.99	NO	(a) (c) (g)
17	324.383	332.774	8.391	R				36.0				
18	332.774	356.792	24.018	C	60.00	DX	0.59	40.5	28.10		NO	(g)
19	356.792	397.952	41.160	R				46.0				
20	397.952	438.898	40.946	C	58.00	DX	3.42	42.0				
21	438.898	457.558	18.660	R				45.3				
22	457.558	540.536	82.978	C	68.00	SX	2.66	44.3		102.78	NO	(c)
23	540.536	554.809	14.274	R				43.7				
24	554.809	576.405	21.596	C	55.00	SX	2.19	40.2	27.92		NO	(g)
25	576.405	592.355	15.950	R				43.9				
26	592.355	605.186	12.830	C	150.00	SX	0.70	44.8	31.08		NO	(g)
27	605.186	614.820	9.635	R				42.4				
28	614.820	694.770	79.950	C	52.00	DX	3.21	40.0		128.58	NO	(c)
29	694.770	722.052	27.283	R				41.2				
30	722.052	756.537	34.484	C	38.00	SX	3.49	35.2		44.99	NO	(a)
31	756.537	810.002	53.465	R				46.7				
32	810.002	818.834	8.832	C	200.00	SX	0.27	44.9	31.15		NO	(g)
33	818.834	837.930	19.096	R				42.7				
34	837.930	862.971	25.041	C	50.00	SX	1.29	38.0	26.41	92.12	NO	(c) (g)
35	862.971	873.842	10.871	C	38.00	DX	3.00	34.9	24.24	167.30	NO	(a) (c) (g)
36	873.842	902.137	28.295	R				41.3				
37	902.137	968.232	66.095	C	132.00	DX	1.43	56.2				(f2) [-
38	968.232	1,026.398	58.166	R				65.6				
39	1,026.398	1,057.776	31.378	C	300.00	DX	1.01	70.7	49.08		NO	(g)
40	1,057.776	1,102.412	44.636	R				71.6				
41	1,102.412	1,111.608	9.195	C	200.00	DX	1.39	65.8	45.71		NO	(g)
42	1,111.608	1,174.397	62.789	R				74.5				
43	1,174.397	1,179.848	5.452	C	250.00	SX	2.99	74.0	51.35		NO	(g)
44	1,179.848	1,404.953	225.104	R				87.1				
45	1,404.953	1,474.694	69.741	C	250.00	SX	1.05	70.9				
46	1,474.694	1,519.482	44.788	R				74.1				
47	1,519.482	1,530.141	10.659	C	250.00	DX	1.07	70.9	49.25		NO	(g)
48	1,530.141	1,642.347	112.206	R				85.9				

Tabella 10 – Verifica caratteristiche planimetriche progressive decrescenti

Per quanto riguarda le velocità di percorrenza, come risulta dai diagrammi delle velocità della Figura 5, il tracciato non raggiunge il limite superiore dell'intervallo di velocità di progetto per strade di categoria F extraurbano (40 – 100 km/h). L'andamento del diagramma delle velocità è pressoché congruente con quanto previsto dalla normativa di riferimento in quanto la variazione di velocità in corrispondenza delle curve circolari è sempre inferiore a 20 km/h fatto salvo il passaggio dalla curva alla progressiva progressiva km 0+ 873.842 con velocità 34.9km/h alla curva con progressiva km 0+902.137 avente una velocità di 56.2km/h.

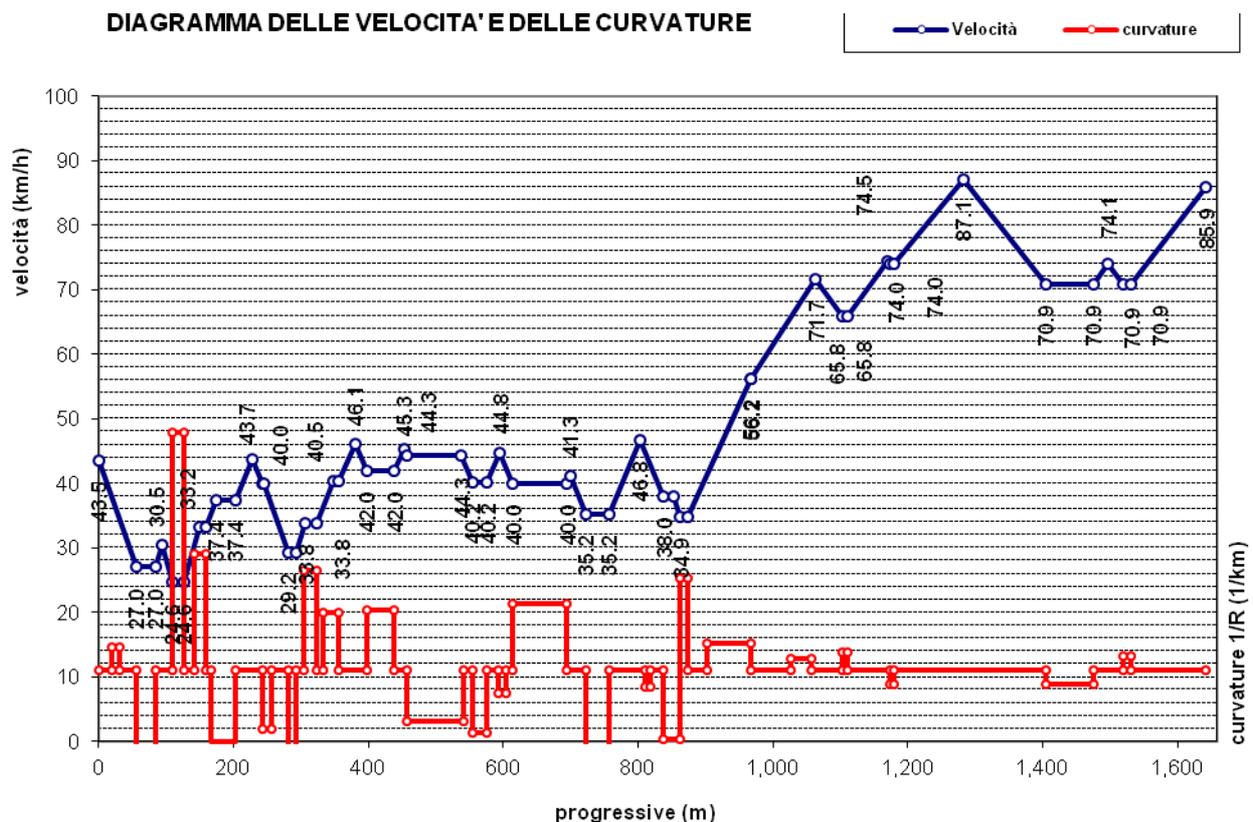


Figura 5 – Diagramma delle velocità e delle curvature

2.2.2.2 Analisi Altimetrica

Con riferimento all'andamento altimetrico, la pendenza massima delle livellette risulta pari al 7.05%, inferiore al valore massimo indicato dalla normativa che richiede, per strade tipo F, di non superare la pendenza del 10%.

Nelle tabelle sono riportati i risultati delle verifiche sui raccordi verticali concavi e convessi rispetto alla distanza di visibilità per l'arresto. L'analisi è stata effettuata in condizioni di pavimentazione bagnata e con velocità desunta da apposito diagramma. Tutti i raccordi verticali risultano verificati.

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

- S = Raccordo verticale convesso (Sacca)
- D = Raccordo verticale concavo (Dosso)

In colonna (3) è indicata la progressiva del vertice, nelle colonne (7), (8) la pendenza di ogni livelletta. In colonna (9) il valore del raccordo verticale esistente, in colonna (12) il valore minimo per garantire la distanza di arresto calcolata per la velocità desunta dal diagramma di velocità ed in colonna (13) il valore di velocità ammissibile (velocità di progetto a cui corrisponde una distanza di arresto pari alla distanza di visuale libera effettivamente disponibile).

N	D/S	Pr.Vert	da	a	L	i1	i2	Rv	Vp	D	Rv,min
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1	S	433	393	472	78.94	-7.05	-4.59	3200	45.2	50.3	919
2	D	919	826	1'012	185.76	-4.59	-5.82	15000	63.2	82.0	1806
3	S	1'463	1'370	1'556	186.20	-5.82	-0.01	3200	75.6	105.8	2386

Tabella 11– Verifiche altimetriche progressive crescenti

N	D/S	Pr.Vert	da	a	L	i1	i2	Rv	Vp	D	Rv,min
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1	S	433	393	472	78.94	-7.05	-4.59	3200	45.2	45.5	800
2	D	919	826	1'012	185.76	-4.59	-5.82	15000	63.2	72.0	1392
3	S	1'463	1'370	1'556	186.20	-5.82	-0.01	3200	75.6	96.9	2143

Tabella 12– Verifiche altimetriche progressive decrescenti

2.2.2.3 Distanze di visibilità

L'analisi del tracciato esistente e la verifica di rispondenza alla norma di riferimento 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 esistente.

La distanza di arresto, pari allo spazio minimo necessario perché un conducente possa arrestare il veicolo in condizione di sicurezza davanti ad un ostacolo imprevisto. Tale procedura consiste nel confrontare le distanze di visuale libera per l'arresto con le distanze di arresto calcolate sia in condizioni di bagnato (facendo riferimento alla velocità di progetto ed utilizzando un coefficiente di aderenza tipico di condizioni di contatto ruota – pavimentazione in assenza di pioggia).

L'analisi è stata eseguita imponendo come ostacoli: nel lato di monte il fronte e, nel lato di valle il ciglio della strada. L'imposizione del ciglio della strada come ostacolo è dettato dal fatto che la folta vegetazione presente rende difficoltosa se non addirittura impossibile la visuale.

Nell'elaborato specifico viene riportata l'estensione e l'esatta ubicazione di questi ambiti, insieme ai valori di distanza di visuale libera planimetrica (DVL), distanza di visibilità (Da), velocità ammissibile (velocità a cui corrisponde una Da pari alla DVL effettivamente disponibile) e valore dell'allargamento della banchina necessario per ricondurre la distanza di visuale libera ai valori di distanza di arresto calcolati per la velocità desunta dal diagramma di velocità, determinati con riferimento alla sezione trasversale tipo esistente.

Dall'analisi dei dati si evidenzia come il 26% del tracciato non disponga dell'adeguata visibilità per l'arresto, con valori di velocità ammissibile media intorno ai 30km/h e con velocità ammissibile minima pari a 14km/h.

3. IL PROGETTO

3.1 INQUADRAMENTO NORMATIVO

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 del progetto 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 (recependo 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").

In questa prospettiva, le scelte progettuali sono state ponderate sulla base di condizioni specifiche, quali il livello di urbanizzazione circostante, la sussistenza di problematiche geotecniche e strutturali, le eventuali ripercussioni di una modifica puntuale su porzioni estese di tracciato, l'esistenza di opere già predisposte o comunque compatibili con l'intervento in oggetto.

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), che assume valore di cogenza per le nuove intersezioni.

3.2 CRITERI PROGETTUALI

3.2.1 TRACCIATI

3.2.1.1 *Caratteristiche planimetriche*

La normativa di riferimento richiede il rispetto delle seguenti condizioni:

Raggio minimo delle curve planimetriche.

Le curve circolari devono aver un raggio superiore al raggio minimo previsto dal DM 05/11/2001 che risulta:

pari a 339 metri nel caso di autostrade extraurbane

pari a 45 metri nel caso di viabilità extraurbane locali

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

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

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

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 si dovrà fare riferimento all'abaco estratto dalla norma e riportato in Figura ;

Lunghezza massima dei rettilinei:

$$L_{\max} = 22 \cdot V_{p,\max}$$

dove V è la velocità massima dell'intervallo delle velocità del progetto, espressa in km/h ed L si ottiene in metri.

Lunghezza minima dei rettilinei. La verifica è stata eseguita facendo riferimento alla tabella estratta dalla norma e riportata di seguito; per velocità la norma intende la massima desunta dal diagramma di velocità per il rettilineo 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 13 – Lunghezza minima dei rettilinei in relazione alla velocità

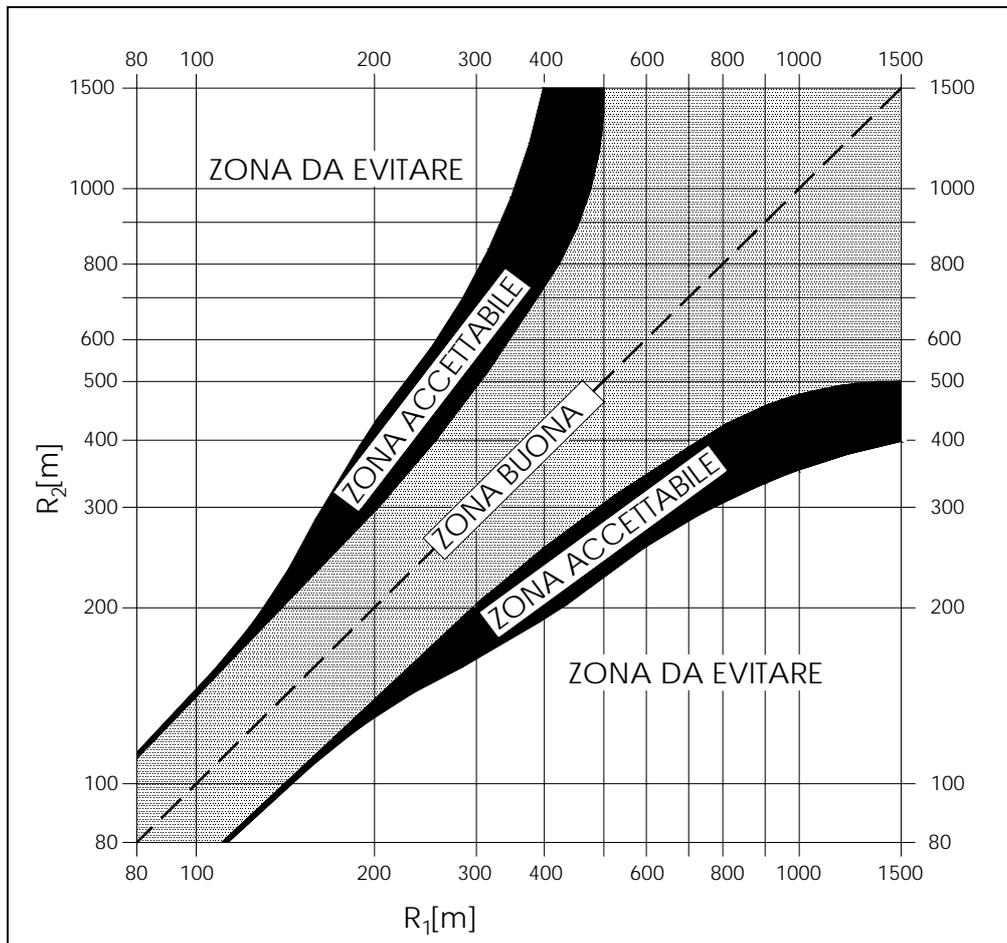


Figura 6 – Abaco di Koppel (DM 05/ 11/01)

Congruenza del diagramma delle velocità. La norma prevede 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 deve superare 10 km/h (f_1). Inoltre, fra due curve successive (nel caso di $V_{p1} > V_{p2}$) tale differenza, comunque mai superiore a 20 km/h, è consigliabile che non superi i 15 km/h (f_2).

Lunghezza minima delle curve circolari. La Norma prevede che una curva circolare, per essere percepita dagli utenti deve essere percorsa per almeno 2.5 secondi e quindi deve avere 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.

Verifica del parametro A degli elementi a curvatura variabile (Clotoidi)

Criterio 1 (Limitazione del contraccollo)

Affinché lungo un arco di clotoide si abbia una graduale variazione dell'accelerazione trasversale non compensata nel tempo (contraccollo), fra il parametro A e la massima velocità V (km/h), desunta dal diagramma di velocità, per l'elemento di clotoide deve essere verificata la relazione:

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

dove:

c = contraccollo;

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:

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

che, esprimendo la velocità in km/h diviene:

$$A_{\min} = \frac{V}{3,6\sqrt{14}} \sqrt{\frac{V^2}{12,96} - gR \cdot (q_f - q_i)}$$

Il DM 6792/2001 propone, in alternativa, di effettuare il calcolo con una formula approssimata che non tiene conto della componente dell'accelerazione centripeta compensata dalla variazione di pendenza trasversale. L'espressione per il calcolo di Amin diventa, in questo caso:

$$A_{\min} = \frac{V^2}{12,96\sqrt{14}} = 0.0206125 \cdot V^2 \cong 0.021 \cdot V^2$$

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 deve verificare la seguente disuguaglianza:

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

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;

$$q_i = \frac{i_{ci}}{100} \quad \text{dove } i_{ci} = \text{pendenza trasversale iniziale}$$

$$q_f = \frac{i_{cf}}{100} \quad \text{con } i_{cf} = \text{pendenza trasversale finale}$$

$|q_i + q_f|$ è il 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 (Ottico)

Per garantire la percezione ottica del raccordo e del successivo cerchio deve essere verificata la relazione :

$$R/3 \leq A \leq R$$

che, nel caso di clotoidi di continuità, diventa:

$$R_2/3 \leq A \leq R_1$$

dove R_1 è il raggio minore ed R_2 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 D.M. 5/11/2001:

$$2/3 \leq A_E/A_U \leq 3/2 \quad 2/3 \leq A_1/A_2 \leq 3/2$$

3.2.1.2 **Caratteristiche altimetriche**

La normativa di riferimento richiede il rispetto delle seguenti condizioni:

Pendenze longitudinali massime

La pendenza massima delle livellette, consentita dal DM 05/11/01 per strade di tipo A (autostrade extraurbane), è pari al 5% (in galleria 4%), mentre per le viabilità extraurbane locali è pari al 10%

Raccordi verticali convessi

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

se D 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 $D > L$

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

dove:

R_v = raggio del raccordo verticale convesso [m]

D = distanza di visibilità da realizzare per l'arresto di un veicolo di fronte ad un ostacolo fisso [m]

Δi = variazione di pendenza delle due livellette, espressa in percento

h_1 = altezza sul piano stradale dell'occhio del conducente [m]

h_2 = altezza dell'ostacolo [m]

Si pone di norma $h_1 = 1.10$ m. In caso di visibilità per l'arresto di un veicolo di fronte ad un ostacolo fisso, si pone $h_2 = 0.10$ m. In caso di visibilità necessaria per il cambiamento di corsia si pone $h_2 = 1.10$ m.

Raccordi verticali concavi

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

se D è inferiore allo sviluppo del raccordo si ha

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

se invece $D > L$

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

dove:

R_v = raggio del raccordo verticale concavo [m]

D = distanza di visibilità da realizzare per l'arresto di un veicolo di fronte ad un ostacolo fisso [m].

Δi = variazione di pendenza delle due livellette espressa in percento

h = altezza del centro dei fari del veicolo sul piano stradale

ϑ = massima divergenza verso l'alto del fascio luminoso rispetto l'asse del veicolo.

Si pone di norma $h = 0.5$ m e $\vartheta = 1^\circ$.

La distanza di visibilità per il sorpasso è stata calcolata analogamente a quanto descritto per la verifica dei raccordi verticali convessi.

3.2.1.3 **Analisi di visibilità**

Per distanza di visuale libera (DVL) 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.

Secondo quanto indicato dalle "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" (D.M. 05/11/2001, prot. N° 6792), lungo il tracciato stradale la distanza di visuale libera deve essere confrontata, con le seguenti distanze:

- **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, pertanto questa verifica verrà condotta soltanto per la sp.22 in quanto non pertinente per le viabilità autostradali.

VELOCITA'	25	40	60	80	100	120	140
f_l	-	-	-	0.44	0.40	0.36	0.34

Tabella 14 – DM 6792/2001, coefficienti di aderenza impegnabile longitudinalmente

Per entrambi le viabilità in progetto (A12 e sp.22) la distanza di arresto è stata calcolata con riferimento alla velocità di progetto da diagramma delle velocità adottando i coefficienti di aderenza da norma. Per il calcolo è stata utilizzata la formula riportata al paragrafo 5.1.2. del DM 05/11/2001. Si è valutata la distanza di arresto con la seguente espressione:

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

dove:

D_1 = spazio percorso nel tempo τ

D_2 = spazio di frenatura

V_0 = velocità del veicolo all'inizio della frenatura [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/s²]

Ra = 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]

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:

$$\tau = (2,8 - 0,01V) \quad [s] \quad \text{con } V \text{ in km/h}$$

I risultati delle analisi sono riportati in forma tabulare nei paragrafi che seguono ed in forma grafica sintetica negli elaborati specifici allegati al presente progetto.

3.2.2 SVINCOLI

Le caratteristiche stradali delle rampe (sia su strade nuove che su strade esistenti) sono state definite a partire dagli intervalli di velocità di progetto indicati nella Tabella 2-2 del paragrafo 4.7.1 della norma e riportati per completezza nella tabella seguente:

tipi di rampe	Intersezione Tipo 1, escluse B/B, D/D, B/D, D/B		Intersezione Tipo 2, e B/B, D/D, B/D, D/B	
Diretta	50-80 km/h		40-60 km/h	
Semidiretta	40-70 km/h		40-60 km/h	
Indiretta	in uscita da A	40 km/h	in uscita dalla strada di livello	40 km/h
	in entrata su A	30 km/h	in entrata sulla strada di livello	30 km/h

Tabella 15 – Velocità di progetto per le varie tipologie di rampe

3.2.2.1 Geometria degli elementi modulari delle rampe

Con riferimento alla geometria degli elementi modulari delle rampe, al fine di valutare gli standard geometrici, si sono individuati i seguenti criteri relativamente a:

- raggi minimi planimetrici;
- parametri minimi e massimi delle clotoidi;
- pendenze longitudinali massime;
- raggi altimetrici minimi (raccordi concavi);
- raggi altimetrici minimi (raccordi convessi).

(a) Raggio minimo delle curve planimetriche

Le curve circolari devono aver un raggio superiore al raggio minimo che risulta funzione della velocità minima dell'intervallo di progetto (vedi 17).

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

Tabella 16 – Raggi minimi delle rampe in funzione della velocità di progetto minima

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

Per l'inserimento di curve a raggio variabile, si è fatto riferimento ai criteri contenuti nel D.M. 5/11/2001 e si rimanda al § 3.2.1.1.

(c) Pendenze longitudinali massime

La pendenza massima delle livellette considerata in funzione della velocità di progetto è quella riportata in tabella 17.

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		

Tabella 17 – Pendenze massime delle rampe

(d) Raccordi verticali convessi

Per l'inserimento di raccordi verticali convessi si è fatto riferimento ai criteri contenuti nel D.M. 5/11/2001 e si rimanda al § 3.2.1.1.

(e) Raccordi verticali concavi

Per l'inserimento di raccordi verticali concavi si è fatto riferimento ai criteri contenuti nel D.M. 5/11/2001 e si rimanda al § 3.2.1.1.

3.2.2.2 Sezioni tipo delle rampe e delle corsie specializzate

Nella Figura 7 è rappresentata la sezione tipo impiegata per la progettazione delle rampe dello svincolo sull'autostrada A12.

La sezione tipo per le corsie specializzate invece prevedono una corsia delle dimensioni di 3.75m con una banchina esterna di 2.50m.

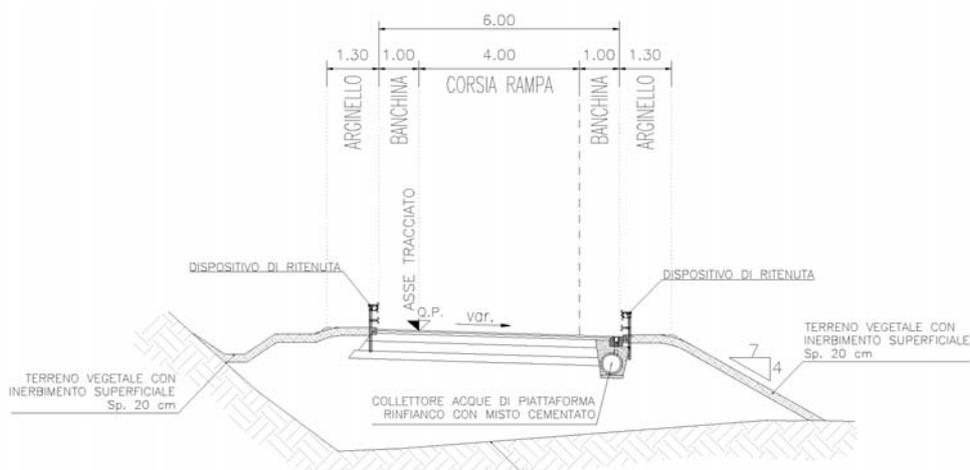


Figura 7 – Sezione tipo

Tale sezione tipologica di progetto rappresenta quanto contenuto nella Tabella 9 del paragrafo 4.7.3 del D.M. 19/04/2006 che, relativamente al caso di strade extraurbane, fornisce le seguenti indicazioni:

Strade extraurbane				
elemento modulare	Tipo di	Larghezza corsie	Larghezza	Larghezza
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 18 – Larghezze degli elementi modulari

3.2.2.3 Sezioni tipo delle rampe e delle corsie specializzate

Il dimensionamento delle corsie specializzate di immissione e diversione è stato effettuato con riferimento ai criteri contenuti nelle "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali" (D.M. 19.04.2006).

3.2.2.3.1 Corsie specializzate di diversione

Con riferimento al caso di configurazione parallela (figura 8), 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.

Il tratto di manovra $L_{m,u}$ deve avere una lunghezza pari a 90 m per velocità di progetto del tratto di strada dal quale si dirama la corsia superiori ai 120 km/h e 75 m per velocità massima di progetto pari a 100 km/h.



Figura 8 - schema planimetrico corsia di uscita (diversione) - tipologia parallela

3.2.2.3.2 Corsie specializzate di immissione

Con riferimento allo schema di figura 9 la lunghezza minima del tratto di accelerazione $L_{a,e}$ è stata calcolata mediante la seguente espressione:

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

dove:

- $L_{a,e}$ (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/s².

Il tratto di raccordo $L_{v,e}$ deve avere una lunghezza pari a 75 metri per velocità di progetto, della strada su cui la corsia si immette, superiori a 80km/h ($L_{v,e} = 50$ metri per velocità di progetto minori o uguali a 80km/h);

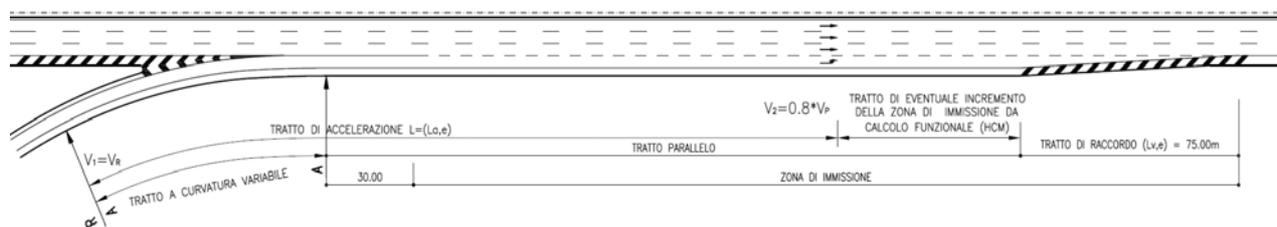


Figura 9 – Schema planimetrico corsia di immissione

3.2.3 INTERSEZIONI DI TIPO ROTATORIO

3.2.3.1 *Tipologie*

Si considerano tre tipologie fondamentali di rotatorie in base al diametro della circonferenza esterna (limite della corona rotatoria):

- rotatorie convenzionali con diametro esterno compreso tra 40 e 50 m;
- rotatorie compatte con diametro esterno compreso tra 25 e 40 m;
- mini rotatorie con diametro esterno compreso tra 14 e 25 m.

Per sistemazioni con "circolazione rotatoria", che non rientrano nelle tipologie su esposte, il dimensionamento e la composizione geometrica debbono essere definiti con il principio dei tronchi di scambio tra due bracci contigui. In questi casi le immissioni devono essere organizzate con appositi dispositivi.

Un ulteriore elemento distintivo tra le tre tipologie fondamentali di attrezzatura rotatoria è rappresentato dalla sistemazione dell'isola circolare centrale, che può essere resa in parte transitabile per le manovre dei veicoli pesanti, nel caso di mini-rotatorie con diametro esterno compreso fra 25 e 18 m, mentre lo diventa completamente per quelle con diametro compreso fra 18 e 14 m; le rotatorie compatte sono invece caratterizzate da bordure non sormontabili dell'isola centrale.

3.2.3.2 *Larghezza delle corsie*

Relativamente alla corsia nella corona giratoria e ai bracci di ingresso e uscita, si è considerato quanto riportato nella Tabella 6 contenuta nel D.M. 19/04/2006 e qui di seguito riportata:

ELEMENTO MODULARE	DIAMETRO ESTERNO ROTATORIA	LARGHEZZA CORSIE (m)
Corsie nella corona rotatoria (*), per ingressi ad una corsia	≥ 40	6.00
	Compreso tra 25 e 40	7.00
	Compreso tra 14 e 25	7.00 – 8.00
Corsie nella corona rotatoria (*), per ingressi a più corsie	≥ 40	9.00
	< 40	8.50 – 9.00
Bracci di ingresso (**)		3.50 per una corsia
Bracci di uscita (*)	< 25	4.00
	≥ 25	4.50

(*) : deve essere organizzata sempre su una sola corsia.

Tabella 19 – Dimensionamento degli elementi modulari delle rotatorie

3.2.3.3 Geometria delle rotatorie

Il criterio principale per definire la geometria delle rotatorie riguarda il controllo della deviazione delle traiettorie in attraversamento del nodo. Infatti, per impedire l'attraversamento di un'intersezione a rotatoria ad una velocità non adeguata, è necessario che i veicoli siano deviati per mezzo dell'isola centrale.

La valutazione del valore della deviazione viene effettuata per mezzo dell'angolo di deviazione β (vedi Figura 11 del D.M. 19/04/2006) Per determinare la tangente al ciglio dell'isola centrale corrispondente all'angolo di deviazione β , bisogna aggiungere al raggio di entrata $Re,2$ un incremento b pari a 3,50 m. Per ciascun braccio di immissione si raccomanda un valore dell'angolo di deviazione β di almeno 45° .

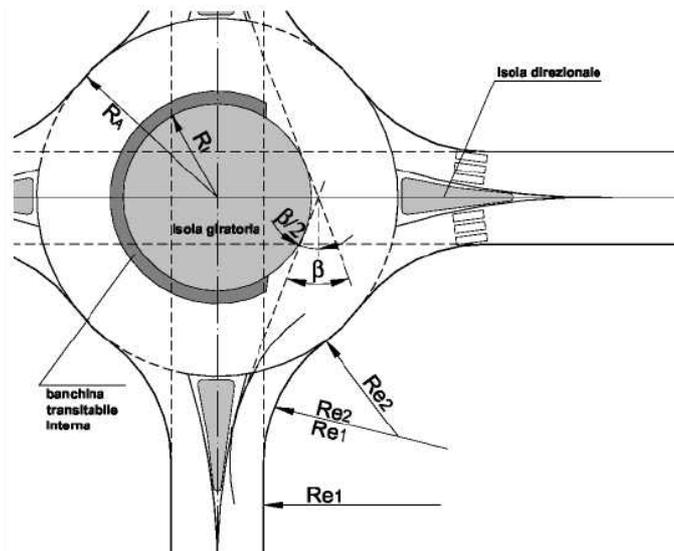


Figura 10 – Elementi di progetto e tipizzazione delle rotatorie

3.2.3.4 Distanze di visibilità

Negli incroci a rotatoria, i conducenti che si approssimano alla rotatoria devono vedere i veicoli che percorrono l'anello centrale al fine di cedere ad essi la precedenza o eventualmente arrestarsi; sarà sufficiente una visione completamente libera sulla sinistra per un quarto dello sviluppo dell'intero anello, secondo la costruzione geometrica riportata in Figura 12 del D.M. 19/04/2006, posizionando l'osservatore a 15 metri dalla linea che delimita il bordo esterno dell'anello giratorio.

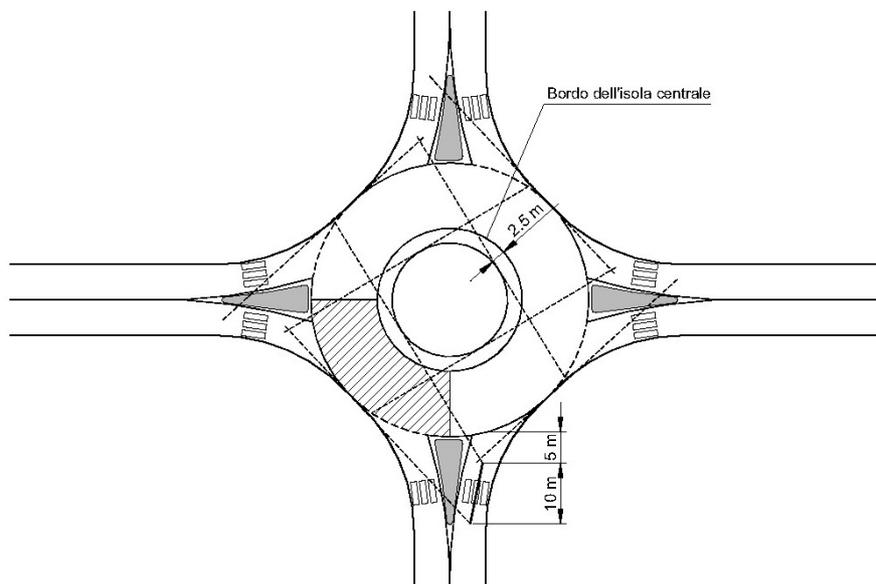


Figura 11 – Campi di visibilità in incrocio a rotatoria

3.2.4 Dimensionamento funzionale delle intersezioni

Un' intersezione deve essere dimensionata con riferimento alla domanda di traffico specializzata in relazione alle manovre consentite.

Gli elementi ed i parametri da determinare in funzione della domanda di traffico, riferita al periodo di punta di progetto, sono:

- per le intersezioni lineari a raso: la lunghezza delle corsie di accumulo;
- per le intersezioni a rotatoria: la capacità della rotatoria ed il livello di servizio della soluzione adottata;
- per le intersezioni a livelli sfalsati: la lunghezza delle corsie di immissione e delle zone di scambio.

Il livello di servizio dell'intersezione non dovrà essere inferiore a quello prescritto dal D.M. 05/11/2001 per il tipo di strade confluenti nel nodo.

3.1 ASSE AUTOSTRADALE

3.1.1 Aspetti geometrici dell'infrastruttura di progetto

Le scelte progettuali alla base dell'intervento di ampliamento sono state fortemente orientate dalla morfologia del terreno esistente infatti, allo scopo di ricavare due rampe sulla carreggiata Ovest, limitando le opere a monte, si è deciso di deviare il tracciato esistente nel lato valle per poi rientrare nuovamente nella sede stradale in corrispondenza del Viadotto Casalino le cui carreggiate verranno unite trasversalmente in corrispondenza dello spartitraffico esistente così da poter ricavare lo spazio sufficiente ad ospitare la nuova piattaforma di progetto.

Al fine di deviare gli assi autostradali esistenti il progetto ha previsto l'aumento di sviluppo delle curve e l'introduzione di elementi geometrici a curvatura variabile. Il tracciato in carreggiata Ovest, partendo dalla Galleria Giovanni Maggio, presenta un susseguirsi di tre curve ciascuna con verso di percorrenza opposto seguite da un rettilineo. Il tracciato termina con un'ultima curva in sinistra che consente d'imboccare la Galleria Casalino. Come previsto dal Decreto Ministeriale tutti gli elementi a curvatura costante (curve circolari e rettilinei) sono stati collegati per mezzo di curve a raggio variabile (clotoidi).

Il tracciato sopra descritto è costituito da una curva iniziale in destra di raggio 375.3m seguito da una curva in sinistra di raggio pari a 399m tra le due curve è stata introdotta una clotoide di flesso simmetrica di parametro A pari a 251.60. Dopo la curva di raggio 399m, per mezzo di un'altra clotoide di flesso simmetrica di parametro A di 178.4m ci si immette in una curva in destra di raggio 550m che, a sua volta, tramite una clotoide di transizione si immette nel rettilineo di lunghezza 24.89m, tale clotoide ha parametro A pari a 184.

Il rettilineo si conclude con una curva di raggio pari a 1000m che permette l'immissione nella galleria Casalino. Tra la curva e il rettilineo è stata introdotta una clotoide con A pari a 328.

Premesse analoghe valgono anche per la carreggiata Est dove il tracciato inizia con una curva in destra di raggio pari a 585.75m seguita da una clotoide di continuità con parametro A di 210 e altra curva di raggio 365m, seguita da un rettilineo di sviluppo 36.04m con interposta una clotoide di transizione di parametro A pari a 205. Dopo il rettilineo, grazie ad un'altra clotoide di transizione con parametro A di 150, ci si immette in un tratto di flesso caratterizzato da due curve di cui la prima in sinistra. I raggi impiegati sono rispettivamente di 404.7m e 546.30m e la clotoide di flesso utilizzata è asimmetrica e di parametri A rispettivamente di 170 e 150. In uscita dall'ultima curva, per mezzo di una clotoide di transizione di parametro A pari a 200 ci si immette in un rettilineo di sviluppo 74.35m che conclude con una curva in sinistra di raggio 450m con interposta una curva a raggio variabile con parametro di scala 193.40m.

Tra i due sensi di marcia, fatta eccezione della zona sul viadotto Casalino è presente uno spartitraffico in terra con pendenza trasversale sempre contenuta che permette l'utilizzo di barriere metalliche monofilari bifacciali interrotte, a circa 165m dalla galleria Giovanni Maggio, da una zona di circa 15m dove è collocato un varco per consentire l'inversione di eventuali mezzi di soccorso stradale.

Con riferimento all'altimetria i vincoli che hanno dettato l'andamento delle livellette impiegate sono state:

- Le quote di imbocco e sbocco delle due gallerie esistenti;
- La quota del viadotto Casalino esistente;
- Il garantire la pendenza dello spartitraffico non superiore al valore di 6.25% corrispondenti ad una differenza di quota dei cigli bitumati pari a 5 cm;
- I franchi minimi nelle zone in cui le rampe scavalcano l'autostrada.

Sulla base di tale premessa nella carreggiata Ovest la pendenza massima della livelletta raggiunge il valore 5.06%. Il valore si è ritenuto accettabile visto che la normativa vigente prevede l'incremento di una unità della pendenza longitudinale massima ($p_{MAX} = 5.00\%$) qualora non risulti penalizzata eccessivamente la circolazione in termini di riduzione delle velocità e della qualità del deflusso, si segnala, tra l'altro l'esiguo sviluppo di tale livelletta (18 m) e si evidenzia che, trattandosi di un adeguamento, il DM 05/11/2001 non è cogente bensì di puro riferimento.

In carreggiata Ovest la pendenza longitudinale massima raggiunta è pari al 4.93%.

Il progetto prevede infine l'adeguamento della pendenza trasversale della piattaforma che nei tratti in rettilineo passa dall'attuale 1.60÷2.00% al 2.50%, mentre in curva è stata adeguata secondo quanto indicato dalla normativa con pendenza massima pari al 7%.

3.1.1.1 **Sezioni tipo**

L'intervento prevede la deviazione dell'asse stradale e l'adeguamento della sezione trasversale adottandone una conforme a quanto previsto dal DM 05/11/2001 per le strade di categoria A "autostrada extraurbana" fatta eccezione per le banchine esterne dove, visto l'esiguo sviluppo dell'intervento e l'assenza delle corsie d'emergenza nelle gallerie, si è mantenuta la dimensione di 0.70m.

Ad eccezione di un breve tratto centrale in carreggiata Ovest, gli unici tratti con banchina laterale ridotta sono quelli in aderenza alle Gallerie esistenti, caratterizzati da sezioni trasversali con banchine ridotte (0.25m), pertanto l'adozione di banchine laterali contenute consente di limitarne la variabilità, cosa che può generare una errata percezione del tracciato.

La sezione tipo stradale prevede una piattaforma minima di 17.20 metri di larghezza, organizzata in due carreggiate separate da un margine interno minimo di 2.20 m. Ciascuna prevede due corsie di marcia da 3.75 m fiancheggiate in destra da una banchina larga minima di 0.70m ed in sinistra da una banchina di dimensioni minime pari a 0,70m (vedi Figura).

Ai fini di limitare l'impatto dei lavori di ampliamento e ottimizzare l'ingombro della piattaforma autostradale nello spartitraffico è prevista l'installazione di una barriera monofilare bifacciale integrata.

A circa 165m dalla galleria Giovanni Maggio, riproponendo quanto già presente, è prevista l'introduzione di una barriera amovibile con sviluppo di circa 40m.

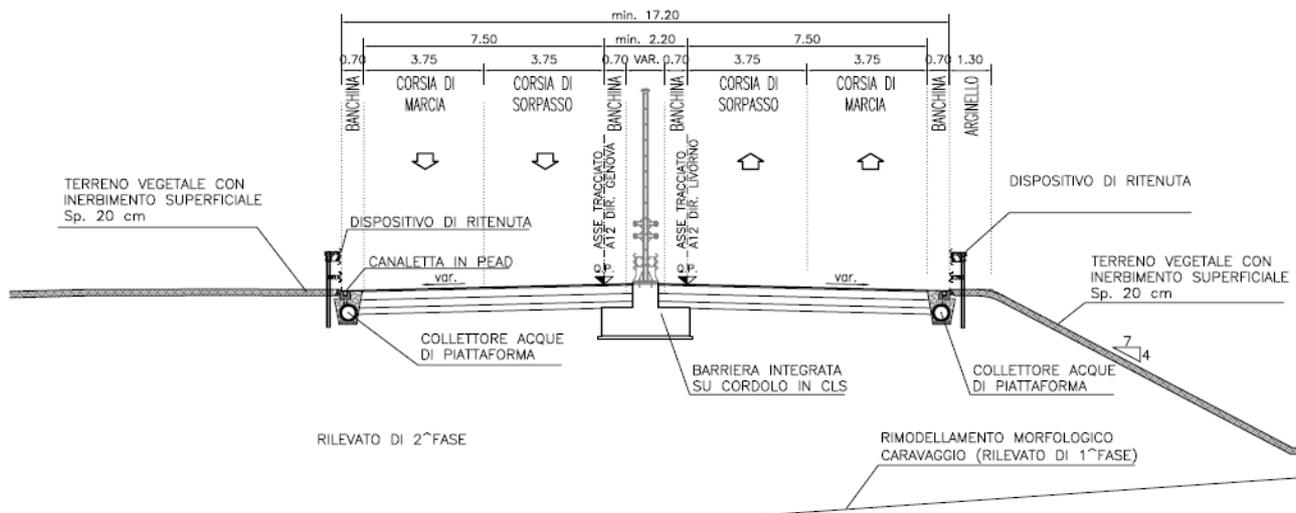


Figura 12 – Sezione tipo

Tenuto conto della morfologia del terreno esistente lungo l'intera tratta, nella carreggiata Est, è prevista l'introduzione di opere a sbalzo per poter realizzare la variante. L'intervento di unione del viadotto Casalino prevede l'introduzione di un giunto longitudinale che ricadrà in corrispondenza della linea di separazione tra corsia di sorpasso e banchina interna della carreggiata Ovest.

3.1.1.2 Andamento plano-altimetrico di progetto

L'intervento sull'Autostrada A12 in direzione Est si sviluppa tra la progressiva km 0 (coincidente con la progressiva esistente km 26+280) alla quota di 118.19 metri s.l.m. e la progressiva km 0+911.57 (coincidente con la progressiva esistente km 27+194) alla quota di 84.35 metri. In direzione Ovest si sviluppa tra la progressiva km 0 (coincidente con la progressiva esistente km 26+280) alla quota di 118.43 metri s.l.m. e la progressiva km 0+922.74 (coincidente con la progressiva esistente km 27+194) alla quota di 84.34 metri.

In Tabella 20 e 21 vengono sintetizzate le caratteristiche degli elementi planimetrici che compongono gli assi autostradali. In colonna (5) è riportato il 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

In colonna (7) è indicato il verso di percorrenza delle curve circolari nella direzione delle progressive crescenti (DX = curva destrorsa, SX = curva sinistrorsa), in colonna (8) il valore di pendenza trasversale.

Elem	ProgrInizio (m)	ProgrFine (m)	Lungh. (m)	TipoElem	Parametro	Vs	ic
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	0.000	35.783	35.783	C	375.30	DX	7.00
2	35.783	204.470	168.686	AF	251.61		
3	204.470	363.136	158.667	AF	251.61		
4	363.136	492.191	129.054	C	399.00	SX	7.00
5	492.191	571.997	79.806	AF	178.45		
6	571.997	629.893	57.896	AF	178.45		
7	629.893	679.897	50.005	C	550.00	DX	7.00
8	679.897	741.454	61.556	AT	184.00		
9	741.454	766.338	24.885	R			
10	766.338	873.892	107.554	AT	327.95		
11	873.892	922.743	48.851	C	1000.00	SX	6.84

Tabella 20 – Riepilogo caratteristiche planimetriche asse Ovest

Elem	ProgrInizio (m)	ProgrFine (m)	Lungh. (m)	TipoElem	Parametro	Vs	ic
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	0.000	6.441	6.441	C	585.75	DX	7.00
2	6.441	51.975	45.534	AC	210.00		
3	51.975	88.944	36.969	C	365.00	DX	7.00
4	88.944	204.081	115.137	AT	205.00		
5	204.081	240.124	36.043	R			
6	240.124	295.721	55.597	AT	150.00		
7	295.721	494.229	198.508	C	404.70	SX	7.00
8	494.229	565.640	71.411	AF	170.00		
9	565.640	606.826	41.186	AF	150.00		
10	606.826	662.789	55.963	C	546.30	DX	7.00
11	662.789	751.385	88.596	AT	220.00		
12	751.385	825.736	74.351	R			
13	825.736	908.821	83.085	AT	193.36		
14	908.821	911.575	2.753	C	450.00	SX	7.00

Tabella 21 – Riepilogo caratteristiche planimetriche asse Est

Da un punto di vista planimetrico, il tracciato in direzione Est prevede quindi un raggio di curvatura minimo $R_{\min} = 365$ m e uno massimo $R_{\max} = 585.75$ m mentre in direzione Ovest un raggio di curvatura minimo $R_{\min} = 375.30$ m e uno massimo $R_{\max} = 1000$ m

3.1.2 **Analisi del progetto con riferimento al DM 6792 del 05.11.2001**

Il dimensionamento degli elementi geometrici degli assi autostradali è stato condotto assumendo una velocità di progetto massima di 90km/h, sulla base di quanto già avviene per gli svincoli esistenti precedenti e successivi, dove è imposto un limite di velocità pari a 80km/h.

Tale valore è stato desunto da quanto implicitamente indicato nella norma, che di fatto effettua le verifiche adottando un valore massimo della velocità di progetto pari al limite di velocità legale previsto dal Codice della Strada incrementato di 10 km/h, al fine di mantenere il fattore di sicurezza adottato (e quindi il livello di rischio accettato) dalla norma stessa.

3.1.2.1 **Analisi Planimetriche**

Vengono di seguito riportati in forma tabellare i dati plano-altimetrici degli assi autostradali in progetto (carr. Ovest e carr. Est) ed i risultati delle verifiche condotte di rispondenza alla normativa di riferimento DM 05/11/2001 prot. N° 6792.

Criteria di Verifica delle caratteristiche planimetriche

(a) - Raggio minimo delle curve planimetriche

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

(c) - Compatibilità tra i raggi di due curve successive

(d) - Lunghezza massima dei rettilinei

(e) - Lunghezza minima dei rettilinei

(f1) - Congruenza del diagramma delle velocità nel passaggio da tratti con $V_{p,max}$ a curve a $V_p < V_{p,max}$

(f2) - Congruenza del diagramma delle velocità nel passaggio fra due curve successive ($V_{p1} > V_{p2}$)

(g) - Lunghezza minima delle curve circolari

(h1) - Verifica del parametro A delle Clotoidi: Limitazione del contraccollo

(h2) - Verifica del parametro A delle Clotoidi Sovrapendenza longitudinale delle linee di estremità

(h3) - Verifica del parametro A delle Clotoidi : Criterio Ottico

Elem	ProgrInizio (m)	ProgrFine (m)	Lungh. (m)	TipoElem	Parametro	Vs	ic	Vp	Lmin/max	Pmin/max	Verifica	Note
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	0.000	35.783	35.783	C	375.30	DX	7.00	90.0	62.50		NO	(g)
2	35.783	204.470	168.686	AF	251.61			90.0				
3	204.470	363.136	158.667	AF	251.61			90.0				
4	363.136	492.191	129.054	C	399.00	SX	7.00	90.0				
5	492.191	571.997	79.806	AF	178.45			90.0				
6	571.997	629.893	57.896	AF	178.45			90.0		183.33	NO	(h3)
7	629.893	679.897	50.005	C	550.00	DX	7.00	90.0	62.50		NO	(g)
8	679.897	741.454	61.556	AT	184.00			90.0			NO	Err. A1/A2
9	741.454	766.338	24.885	R				90.0				
10	766.338	873.892	107.554	AT	327.95			90.0		333.33	NO	Err. A1/A2 (h3)
11	873.892	922.743	48.851	C	1000.00	SX	6.84	90.0	62.50		NO	(g)

Tabella 22 – Verifica planimetriche carreggiata Ovest

Si riportano nel seguito le incongruenze riscontrate, durante l'analisi, rispetto alle indicazioni della normativa di riferimento:

- (g) criterio ottico di percezione dello sviluppo minimo delle curve circolari degli elementi 1, 7, 11.
- (h3) criterio ottico di percezione del raccordo clotoideo e dell'arco di cerchio a fine clotoide degli elementi 6,10
- Alle progressive 0+679.897 e 0+766.338, non si rispetta il criterio ottico relativo al rapporto tra le clotoidi di flesso.

Elem	ProgrInizio (m)	ProgrFine (m)	Lungh. (m)	TipoElem	Parametro	Vs	ic	Vp	Lmin/max	Pmin/max	Verifica	Note
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	0.000	6.441	6.441	C	585.75	DX	7.00	90.0	62.50		NO	(g)
2	6.441	51.975	45.534	AC	210.00			90.0				
3	51.975	88.944	36.969	C	365.00	DX	7.00	90.0	62.50		NO	(g)
4	88.944	204.081	115.137	AT	205.00			90.0				
5	204.081	240.124	36.043	R				90.0	115.00		NO	(e)
6	240.124	295.721	55.597	AT	150.00			90.0				
7	295.721	494.229	198.508	C	404.70	SX	7.00	90.0				
8	494.229	565.640	71.411	AF	170.00			90.0				
9	565.640	606.826	41.186	AF	150.00			90.0		182.10	NO	(h3)
10	606.826	662.789	55.963	C	546.30	DX	7.00	90.0	62.50		NO	(g)
11	662.789	751.385	88.596	AT	220.00			90.0				
12	751.385	825.736	74.351	R				90.0	115.00		NO	(e)
13	825.736	908.821	83.085	AT	193.36			90.0				
14	908.821	911.575	2.753	C	450.00	SX	7.00	90.0	62.50		NO	(g)

Tabella 23 – Verifica caratteristiche planimetriche carreggiata Est

Si riportano nel seguito le incongruenze riscontrate, durante l'analisi, rispetto alle indicazioni della normativa di riferimento:

- (g) criterio ottico di percezione dello sviluppo minimo delle curve circolari degli elementi 1, 3, 10, 14.
- (e) criterio ottico di percezione della lunghezza minima dei rettifili degli elementi 5, 12.
- (h3) criterio ottico di percezione del raccordo clotoidico e dell'arco di cerchio a fine clotoide degli elemento 9.

Dall'analisi del tabulato di verifica si mette in evidenza, come in entrambe le carreggiate, siano presenti alcune non conformità minori di carattere ottico, quali il mancato sviluppo minimo delle curve circolari e dei rettifili. Gli elementi planimetrici adottati risultano cinematicamente dimensionati per una velocità di progetto massima pari a 90km/h.

Nella Figura sottostante si riporta il diagramma delle velocità determinati come previsto al punto 5.4 del D.M. n. 5/11/2001; nella medesima figura è riportato, per comodità di lettura, anche l'andamento delle curvature planimetriche.

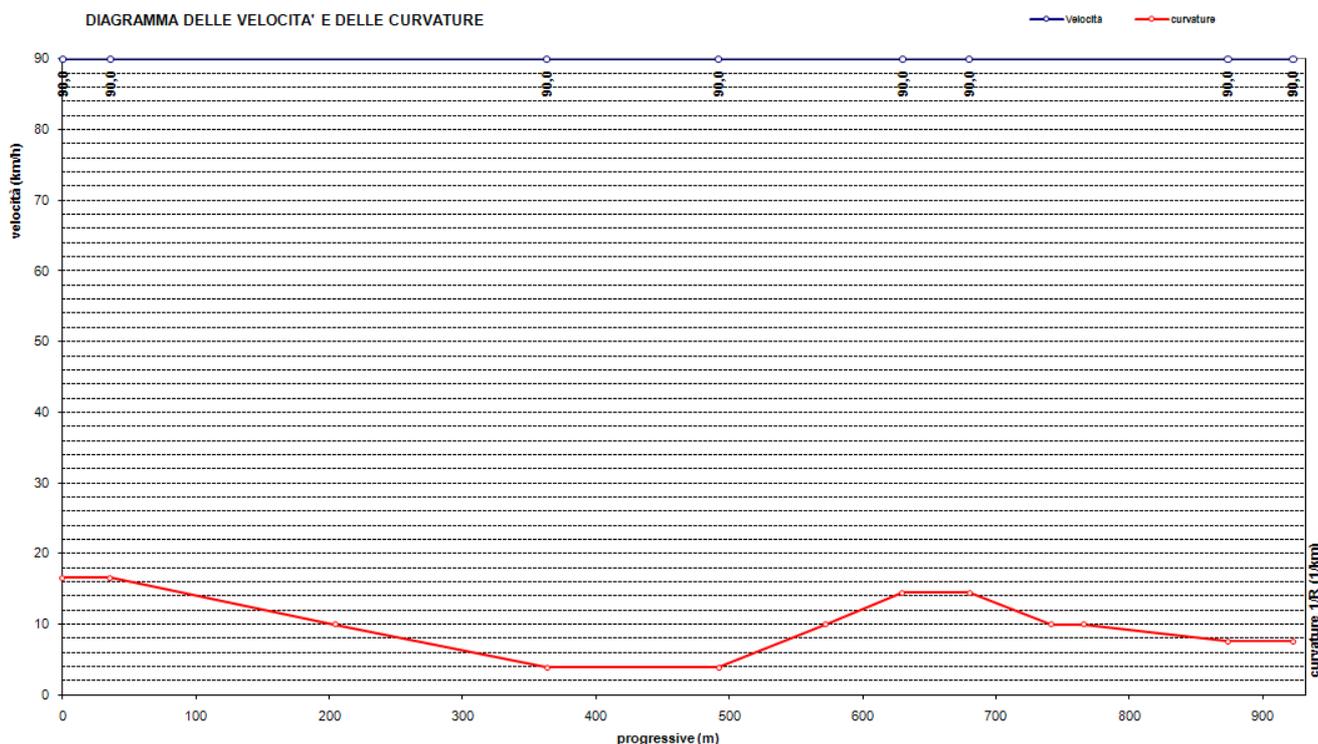


Figura 13 – Diagramma delle velocità e delle curvature carreggiata Ovest

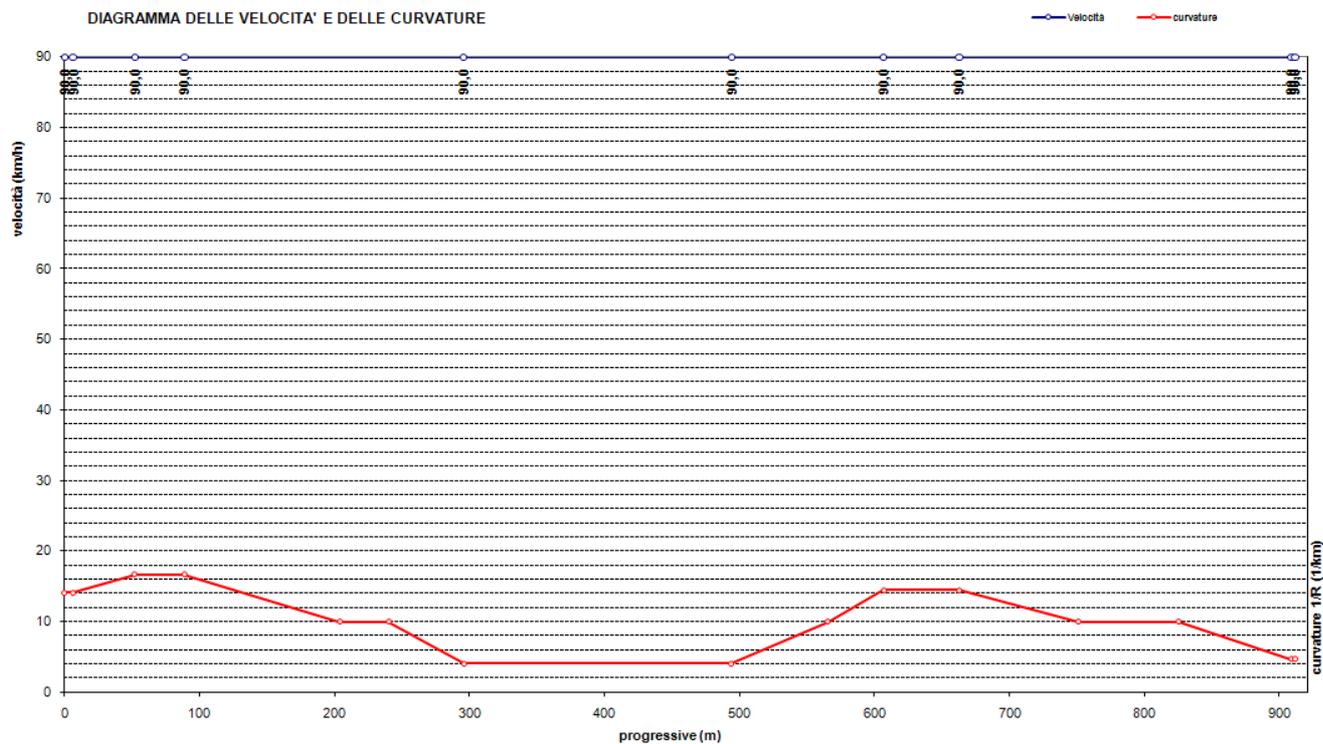


Figura 14 – Diagramma delle velocità e delle curvature carreggiata Est

3.1.2.2 **Analisi Altimetriche**

Criteria di Verifica delle caratteristiche altimetriche

(i) - Pendenze longitudinali massime

(j) - Raccordi verticali convessi

(k) - Raccordi verticali concavi

I raccordi verticali sono stati verificati per entrambi i tracciati in funzione della distanza di visibilità per l'arresto, l'analisi è stata effettuata in condizioni di pavimentazione bagnata.

In Tabella 24 e 25 sono riportati i risultati delle verifiche dei raccordi verticali concavi e convessi rispetto alla distanza di visibilità per l'arresto. In colonna (2) è riportato il tipo di raccordo altimetrico considerato utilizzando le seguenti abbreviazioni:

- S = Raccordo verticale convesso (Sacca)
- D = Raccordo verticale concavo (Dosso)

In colonna (3) è indicata la progressiva del vertice, nelle colonne (7), (8) la pendenza di ogni livelletta. Infine, in colonna (9) il valore del raggio esistente, in colonna (12) il valore minimo per garantire la distanza di arresto calcolata per la velocità di 90 km/h.

N	D/S	Pr.Vert	da	a	L	i1	i2	Rv	Vp	D	Rv,min
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1	D	47	32	62	30.02	-0.88	-2.55	1800	90.0	108.4	-
2	D	100	80	120	39.48	-2.55	-4.07	2600	90.0	106.6	-
3	S	160	154	166	12.27	-4.07	-3.25	1500	90.0	106.2	-
4	D	180	177	183	6.08	-3.25	-3.63	1600	90.0	106.5	-
5	S	217	199	235	36.09	-3.63	-2.74	4050	90.0	106.8	-
6	D	274	252	296	44.08	-2.74	-3.83	4050	90.0	106.7	-
7	S	300	296	304	8.08	-3.83	-3.25	1400	90.0	106.4	-
8	D	360	324	396	72.39	-3.25	-5.06	4000	90.0	105.7	302
9	S	420	414	426	12.12	-5.06	-4.05	1200	90.0	105.3	-
10	S	597	591	604	13.04	-4.05	-3.79	5000	90.0	106.0	-
11	D	702	687	717	30.00	-3.79	-4.39	5000	90.0	105.8	-
12	S	740	736	744	7.69	-4.39	-3.96	1800	90.0	105.7	-
13	S	838	834	842	8.92	-3.96	-3.49	1900	90.0	106.2	-
14	D	860	856	864	8.06	-3.49	-3.82	2500	90.0	106.2	-

Tabella 24 –Verifiche altimetriche carreggiata Ovest

N	D/S	Pr.Vert	da	a	L	i1	i2	Rv	Vp	D	Rv,min
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1	D	99	76	122	45.79	-2.37	-4.14	2600	90.0	114.9	1039
2	S	146	137	155	17.95	-4.14	-3.24	2000	90.0	115.6	-
3	S	217	209	224	14.53	-3.24	-2.75	3000	90.0	114.6	-
4	D	323	303	343	40.25	-2.75	-4.36	2500	90.0	115.4	-
5	D	380	372	388	15.34	-4.36	-4.87	3000	90.0	117.0	-
6	S	398	392	405	13.36	-4.87	-4.43	3000	90.0	117.0	-
7	S	425	420	431	11.63	-4.43	-4.04	3000	90.0	116.4	-
8	D	500	492	508	16.06	-4.04	-4.58	3000	90.0	116.5	-
9	S	560	554	566	12.81	-4.58	-4.36	6000	90.0	116.8	-
10	S	580	573	587	14.36	-4.36	-4.08	5000	90.0	116.4	-
11	D	600	599	601	1.02	-4.08	-4.13	2000	90.0	116.2	-
12	S	620	614	626	11.45	-4.13	-3.67	2500	90.0	115.9	-
13	D	680	673	687	13.84	-3.67	-3.84	8000	90.0	115.7	-
14	D	700	692	708	16.48	-3.84	-4.31	3500	90.0	116.2	-
15	S	731	727	734	7.26	-4.31	-3.95	2000	90.0	116.2	-
16	S	816	812	820	7.42	-3.95	-3.46	1500	90.0	115.6	-
17	D	847	829	865	36.90	-3.46	-4.93	2500	90.0	116.3	-
18	S	899	889	908	19.20	-4.93	-3.56	1400	90.0	116.4	-

Tabella 25 –Verifiche altimetriche carreggiata Est

Dalla verifica risulta che i valori di progetto dei raggi sono sempre superiori a quelli minimi da calcolo

3.1.2.3 Distanze di visibilità

Per quanto riguarda le distanze di visibilità planimetriche, il progetto ha permesso un sensibile miglioramento delle visuali libere eliminando la presenza di tratti in cui la distanza di visuale libera risultava inferiore alla distanza di arresto calcolata a 90 km/h sul bagnato.

Per poter garantire la distanza di visibilità per l'arresto, sono stati introdotti i seguenti allargamenti:

Carreggiata ovest:

Dalla progressiva 0+25.89 alla progressiva 0+93.22 allargamento massimo della banchina pari a 0.78m in corrispondenza delle curve di raggio 375.30 m.

Dalla progressiva 0+336.46 alla progressiva 0+522.51 allargamento massimo della banchina pari a 1.08m in corrispondenza delle curve di raggio 399.00 m.

Dalla progressiva 0+ 619.28 alla progressiva 0+741.45 allargamento massimo della banchina pari a 0.43m. in corrispondenza delle curve di raggio 550.00 m.

Carreggiata est:

Dalla progressiva 0+22.70 alla progressiva 0+139.99 allargamento massimo della banchina pari a 1.74 m. in corrispondenza delle curve di raggio 365.00 m.

Dalla progressiva 0+145.63 alla progressiva 0+532.04 allargamento massimo della banchina pari a 3.50 m.
in corrispondenza delle curve di raggio 404.70 m.

Dalla progressiva 0+609.85 alla progressiva 0+ 731.57 allargamento massimo della banchina pari a 0.44 m.
in corrispondenza delle curve di raggio 546.30 m.

3.2 SVINCOLI

Al fine di realizzare il nuovo svincolo di Val Fontanabuona il progetto prevede la realizzazione di nuove rampe con relative corsie specializzate e di una nuova Rampa Principale per il collegamento della variante all'autostrada A12 con la Strada Provinciale n. 22.

Il collegamento tra il nuovo svincolo e la viabilità esterna avverrà tramite una nuova intersezione a rotatoria.

Per le interconnessioni autostradali, si è fatto riferimento agli intervalli di velocità di progetto delle intersezioni di tipo 2 ed in particolare, ad eccezione della rampa principale, è stato utilizzato un intervallo di velocità di progetto pari a 40-60 km/h.

3.2.1 Sezioni tipo delle rampe e delle corsie specializzate

Nella Figura 15 è rappresentata la sezione tipo impiegata per la progettazione delle rampe dello svincolo sull'autostrada A12.

La sezione tipo per le corsie specializzate invece prevedono una corsia delle dimensioni di 3.75m con una banchina esterna di 2.50m.

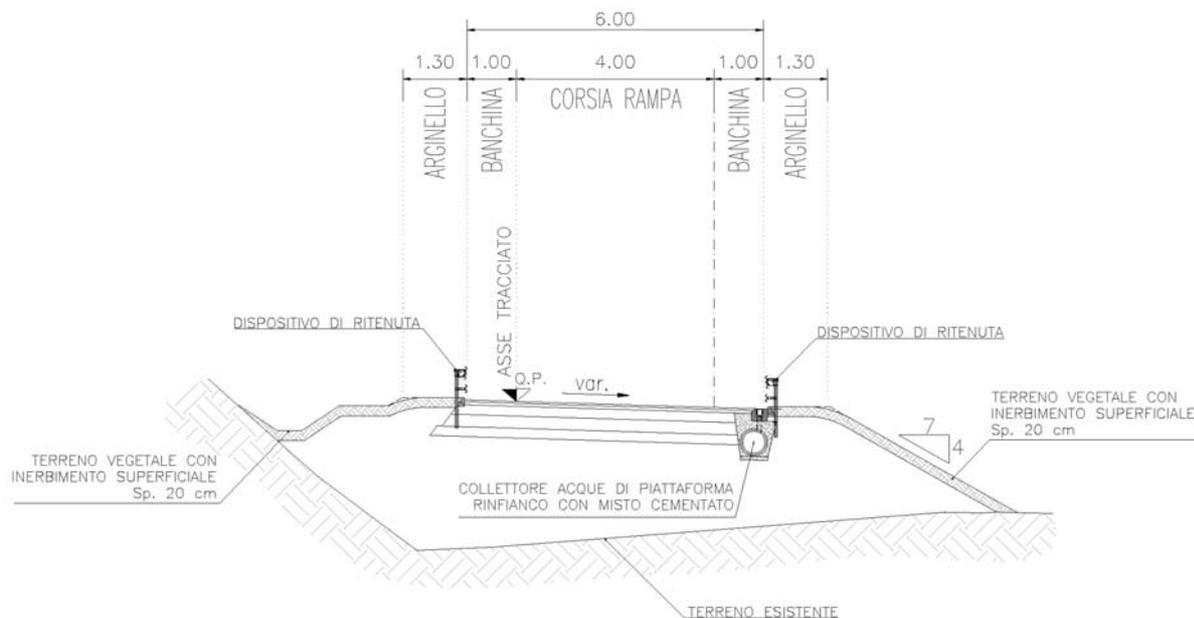


Figura 15 – Sezione tipo

Tale sezione tipologica di progetto è congrua rispetto a quanto contenuto del D.M. 19/04/2006 (confronta paragrafo 3.2.2.2).

Nelle tabelle sotto riportate si riportano i valori utilizzati per il calcolo delle lunghezze minime cinematiche delle corsie di accelerazione e decelerazione nonché i valori di progetto utilizzati.

Raggio curva circolare	Rf	(m)	210.0
Velocità di progetto curva circolare	V2	(km/h)	60.00
Velocità di progetto asse autostradale	V0	(km/h)	90.00
Velocità fine tratto accelerazione	V1	(km/h)	72.00
Lunghezza curva raggio variabile	Lc	(m)	23.97
Lunghezza tratto parallelo	Lp	(m)	37.14
Lunghezza di calcolo tratto accelerazione	La,e (c)	(m)	61.11
Lunghezza tratto di raccordo di progetto	Lv,e (p)	(m)	75.0
Lunghezza minima corsia specializzata	Lt min	(m)	136.11
Lunghezza di progetto corsia specializzata	Lt (p)	(m)	158.97.0

Tabella 26 – Corsia di immissione Rampa A

Velocità di progetto autostradale	V1	(km/h)	90.0
Raggio curva circolare	Rf	(m)	250.0
Velocità di progetto curva circolare	V2	(km/h)	60.0
Lunghezza tratto parallelo	Lp	(m)	49.81
Lunghezza di calcolo tratto decelerazione	Ld,u (c)	(m)	86.81
Lunghezza tratto manovra di progetto	Lm,u (p)	(m)	75.0
Lunghezza minima corsia specializzata	Lt min	(m)	124.31
Lunghezza di progetto corsia specializzata	Lt (p)	(m)	175.0

Tabella 27 – Corsia di diversione Rampa B

Velocità di progetto autostradale	V1	(km/h)	90.0
Raggio curva circolare	Rf	(m)	45.0
Velocità di progetto curva circolare	V2	(km/h)	53.7
Lunghezza tratto parallelo	Lp	(m)	169.9
Lunghezza di calcolo tratto decelerazione	Ld,u (c)	(m)	214.9
Lunghezza tratto manovra di progetto	Lm,u (p)	(m)	90.0
Lunghezza minima corsia specializzata	Lt min	(m)	162.88
Lunghezza di progetto corsia specializzata	Lt (p)	(m)	175.0

Tabella 28 – Corsia di diversione Rampa C

Raggio curva circolare	Rf	(m)	240.0
Velocità di progetto curva circolare	V2	(km/h)	60.00
Velocità di progetto asse autostradale	V0	(km/h)	90.00
Velocità fine tratto accelerazione	V1	(km/h)	72.00
Lunghezza curva raggio variabile	Lc	(m)	14.79
Lunghezza tratto parallelo	Lp	(m)	46.42
Lunghezza di calcolo tratto accelerazione	La,e (c)	(m)	46.32
Lunghezza tratto di raccordo di progetto	Lv,e (p)	(m)	75.0
Lunghezza minima corsia specializzata	Lt min	(m)	136.11
Lunghezza di progetto corsia specializzata	Lt (p)	(m)	153.79

Tabella 29 – Corsia di immissione Rampa D

3.2.1.1 Analisi del progetto con riferimento al DM 19.04.2006

3.2.1.1.1 Analisi planimetriche

Vengono di seguito riportati in forma tabellare i dati plano-altimetrici delle rampe in progetto ed i risultati delle verifiche condotte di rispondenza alla normativa di riferimento DM 05/11/2001 prot. N° 6792.

Criteria di Verifica delle caratteristiche planimetriche

(a) - Raggio minimo delle curve planimetriche

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

(c) - Compatibilità tra i raggi di due curve successive

(d) - Lunghezza massima dei rettili

(e) - Lunghezza minima dei rettili

(f1) - Congruenza del diagramma delle velocità nel passaggio da tratti con $V_{p,max}$ a curve a $V_p < V_{p,max}$

(f2) - Congruenza del diagramma delle velocità nel passaggio fra due curve successive ($V_{p1} > V_{p2}$)

(g) - Lunghezza minima delle curve circolari

(h1) - Verifica del parametro A delle Clotoidi: Limitazione del contraccollo

(h2) - Verifica del parametro A delle Clotoidi Sovrapendenza longitudinale delle linee di estremità

(h3) - Verifica del parametro A delle Clotoidi : Criterio Ottico

Elem	ProgrInizio (m)	ProgrFine (m)	Lungh. (m)	TipoElem	Parametro	Vs	ic	Vp	Lmin/max	Pmin/max	Verifica	Note
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	0.000	14.019	14.019	R				60.0				
2	14.019	71.666	57.647	AT	70.00			60.0				
3	71.666	165.761	94.095	C	85.00	SX	7.00	52.5				
4	165.761	178.114	12.353	AC	70.00			50.9				
5	178.114	282.284	104.170	C	70.00	SX	7.00	48.4				
6	282.284	352.284	70.000	AT	70.00			60.0				
7	352.284	418.011	65.728	R				60.0				
8	418.011	450.030	32.019	AT	82.00			60.0				
9	450.030	497.260	47.230	C	210.00	DX	4.84	60.0				
10	497.260	521.235	23.975	AC	80.00			60.0		328.14	NO	Err. R1/R2 (h3)
11	521.235	522.235	1.000	C	984.43	DX	2.50	60.0				

Tabella 30 – Verifica caratteristiche planimetriche Rampa A

Elem	ProgrInizio (m)	ProgrFine (m)	Lungh. (m)	TipoElem	Parametro	Vs	ic	Vp	Lmin/max	Pmin/max	Verifica	Note
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	0.000	96.744	96.744	R				60.0				
2	96.744	129.144	32.400	AT	90.00			60.0				
3	129.144	137.055	7.911	C	250.00	SX	4.33	60.0				
4	137.055	169.455	32.400	AT	90.00			60.0				
5	169.455	170.455	1.000	R				60.0				
6	170.455	207.863	37.408	AT	67.00			60.0				
7	207.863	208.356	0.493	C	120.00	DX	6.93	60.0				
8	208.356	245.765	37.408	AT	67.00			60.0				
9	245.765	268.735	22.970	R				60.0				
10	268.735	301.462	32.727	AT	60.00			60.0				
11	301.462	346.360	44.898	C	110.00	SX	7.00	58.3				
12	346.360	390.906	44.545	AF	70.00			60.0				
13	390.906	456.239	65.333	AF	70.00			60.0				
14	456.239	461.240	5.001	C	75.00	DX	7.00	49.8				
15	461.240	466.795	5.555	AC	75.00			50.8				
16	466.795	471.683	4.888	C	81.00	DX	7.00	51.4				
17	471.683	547.379	75.696	AC	81.00			60.0		412.33	NO	Err. R1/R2 (h3)
18	547.379	548.379	1.000	C	1237.00	DX	2.50	60.0				

Tabella 31 – Verifica caratteristiche planimetriche Rampa B

Elem	ProgrInizio (m)	ProgrFine (m)	Lungh. (m)	TipoElem	Parametro	Vs	ic	Vp	Lmin/max	Pmin/max	Verifica	Note
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(1) (13)
1	0.000	1.000	1.000	C	412.20	SX	3.15	40.0				
2	1.000	25.260	24.260	AF	100.00			40.0		137.40	NO	Err. A1/A2 (h3)
3	25.260	70.260	45.000	AF	45.00			40.0			NO	Err. A1/A2
4	70.260	77.736	7.476	C	45.00	DX	7.00	40.0				
5	77.736	79.650	1.914	AC	45.00			40.3				
6	79.650	170.446	90.796	C	47.00	DX	7.00	40.8				
7	170.446	185.889	15.443	AC	47.00			43.9				
8	185.889	195.299	9.410	C	70.00	DX	7.00	45.8				
9	195.299	265.299	70.000	AT	70.00			60.0				
10	265.299	266.299	1.000	R				60.0				

Tabella 32 – Verifiche planimetriche Rampa C

Elem	ProgrInizio (m)	ProgrFine (m)	Lungh. (m)	TipoElem	Parametro	Vs	ic	Vp	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				60.0				
2	1.000	61.357	60.357	AT	65.00			59.9				
3	61.357	103.324	41.966	C	70.00	SX	7.00	48.4				
4	103.324	168.606	65.282	AF	67.60			60.0				
5	168.606	223.884	55.278	AF	66.50			60.0				
6	223.884	225.298	1.414	C	80.00	DX	7.00	51.2				
7	225.298	278.632	53.333	AC	80.00			60.0				
8	278.632	279.672	1.040	C	240.00	DX	4.45	60.0				
9	279.672	294.460	14.788	AC	80.00			60.0		179.60	NO	(h3)
10	294.460	295.392	0.931	C	538.80	DX	2.65	60.0				

Tabella 33 – Verifiche planimetriche Rampa D

Tutte le rampe, presentano una geometria planimetrica, che consente la percorrenza della rampa stessa con velocità contenute nell'intervallo di velocità.

Inoltre i tracciati delle rampe risultano rispondenti, in termini di caratteristiche degli elementi planimetrici, alle indicazioni contenute nel DM 19/04/2006, ad eccezione del criterio ottico degli elementi di raccordo tra la rampa e la strada di categoria superiore (autostrada A12) che, in ogni caso, non costituiscono un pericolo per la circolazione stradale in quanto elemento di raccordo. La diversa natura di queste due categorie stradali, in termini di intervallo di velocità e quindi di raggi di curvatura, rende impossibile rispettare il rapporto ottico.

3.2.1.1.2 Analisi altimetriche

Nelle tabelle seguenti sono riportati gli andamenti altimetrici e i risultati delle verifiche dei raccordi verticali concavi e convessi rispetto alla distanza di visibilità per l'arresto dei singoli assi.

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

- S = Raccordo verticale convesso (Sacca)
- D = Raccordo verticale concavo (Dosso)

In colonna (3) è indicata la progressiva del vertice, nelle colonne (7), (8) la pendenza di ogni livelletta. Infine, in colonna (9) il valore del raggio esistente, in colonna (12) il valore minimo per garantire la distanza di arresto calcolata con riferimento alla velocità desunta dal diagramma delle velocità, in colonna (14) il valore di velocità ammissibile (velocità di progetto a cui corrisponde una distanza di arresto pari alla distanza di visuale libera effettivamente disponibile).

- D = Raccordo verticale concavo (Dosso)

In colonna (3) è indicata la progressiva del vertice, nelle colonne (7), (8) la pendenza di ogni livelletta. Infine, in colonna (9) il valore del raggio esistente, in colonna (12) il valore minimo per garantire la distanza di arresto.

N	D/S	Pr.Vert	da	a	L	i1	i2	Rv	Vp	D	Rv,min
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1	S	6	1	10	8.98	-5.77	-3.86	470	60.0	64.2	-
2	D	13	11	15	4.23	-3.86	-4.76	470	60.0	63.9	-
3	S	22	15	29	14.04	-4.76	-4.36	3500	60.0	64.0	-
4	S	132	83	180	96.81	-4.36	5.32	1000	52.5	51.7	953
5	D	229	201	256	55.97	5.32	-4.01	600	48.4	46.6	582
6	S	354	330	377	47.18	-4.01	-0.38	1300	60.0	62.8	1038
7	S	383	378	388	9.85	-0.38	1.59	500	60.0	61.5	-
8	S	400	393	407	13.76	1.59	4.34	500	60.0	60.5	290
9	D	448	447	449	2.90	4.34	3.76	500	60.0	60.1	-
10	D	480	479	481	1.47	3.76	3.47	500	60.0	60.3	-
11	S	487	485	488	3.20	3.47	4.11	500	60.0	60.2	-
12	D	510	499	522	23.05	4.11	3.53	4000	60.0	60.2	-

Tabella 34– verifiche altimetriche Rampa A

N	D/S	Pr.Vert	da	a	L	i1	i2	Rv	Vp	D	Rv,min
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1	D	56	38	73	34.66	5.49	3.76	2000	60.0	59.9	-
2	S	92	89	94	5.83	3.76	5.00	470	60.0	60.0	-
3	S	99	96	101	4.70	5.00	6.00	470	60.0	59.6	-
4	S	103	101	106	4.70	6.00	7.00	470	60.0	59.2	-
5	D	398	370	426	56.02	7.00	1.40	1000	60.0	60.1	957
6	S	482	473	491	17.30	1.40	4.54	550	54.9	53.9	516

Tabella 35 – verifiche altimetriche Rampa B

N	D/S	Pr.Vert	da	a	L	i1	i2	Rv	Vp	D	Rv,min
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1	S	21	2	40	37.64	-4.50	-3.98	7200	48.2	47.7	-
2	S	97	53	141	87.60	-3.98	5.75	900	44.0	41.3	700

Tabella 36 – verifiche altimetriche Rampa C

N	D/S	Pr.Vert	da	a	L	i1	i2	Rv	Vp	D	Rv,min
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1	S	4	2	5	2.60	-5.77	-5.25	500	59.6	64.0	-
2	D	17	10	24	14.04	-5.25	-5.53	5000	58.3	62.0	-
3	S	166	157	176	19.45	-5.53	-3.10	800	60.0	63.9	-
4	D	189	176	202	25.61	-3.10	-5.66	1000	60.0	64.0	-
5	S	260	259	261	2.65	-5.66	-5.57	3000	57.7	61.3	-
6	S	287	279	295	16.24	-5.57	-3.77	900	60.0	64.1	-

Tabella 37 – verifiche altimetriche Rampa D

Dalle analisi effettuate si desume che i valori risultano sempre superiori a quelli minimi da calcolo.

3.2.1.1.3 Distanze di visibilità

Secondo quanto indicato dalle “*Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali*” (DM 19/04/2006), deve essere verificata la distanza di visibilità per l’arresto ai sensi del D.M. 05/11/2001. Definendo la distanza di arresto come lo spazio minimo necessario perché un conducente possa arrestare il veicolo in condizione di sicurezza davanti ad un ostacolo imprevisto è necessario che tale distanza risulti inferiore rispetto alla distanza di visibilità. Si è quindi provveduto ad apportare opportuni allargamenti della banchina così da poter garantire lungo l’intero tracciato il transito in condizioni di totale sicurezza.

Per poter garantire la distanza di visibilità per l’arresto sulle rampe, sono stati introdotti i seguenti allargamenti minimi:

Rampa A:

Dalla progressiva 0+ 68.66 alla progressiva 0+ 303.52 allargamento massimo della banchina pari a 2.11 m. in corrispondenza delle curve di raggio 85.00 m e 70 m.

Rampa B:

Dalla progressiva 0+ 293.38 alla progressiva 0+ 354.99 allargamento massimo della banchina pari a 0.91 m. in corrispondenza della curva di raggio 110.00 m.

Dalla progressiva 0+ 418.46 alla progressiva 0+ 486.94 allargamento massimo della banchina pari a 1.84 m. in corrispondenza delle curve di raggio 75.00 m e 81.00 m.

Rampa C:

Dalla progressiva 0+ 42.14 alla progressiva 0+184.33 allargamento massimo della banchina destra pari a 2.18 m. in corrispondenza della curve di raggio 45.00 m e 47.00 m.

Rampa D:

Dalla progressiva 0+223.88 alla progressiva 0+225.30 allargamento massimo della banchina pari a 0.85 m. in corrispondenza delle curve di raggio 80.00 m.

In corrispondenza degli impalcati, in alcuni casi e per ragioni strutturali, sono stati adottati allargamenti eccedenti le dimensioni minime necessarie per la visibilità.

3.2.2 **RAMPA PRINCIPALE**

Al fine di collegare il nuovo svincolo sull'Autostrada A12 con la Strada Provinciale n.22 il progetto ha previsto la realizzazione di una galleria a canna unica con due rampe monodirezionali separate da setto sovrastante un profilo redirettivo.

Il tracciato, da sud verso nord, prevede il passaggio attraverso due gallerie, la prima (Caravaggio) con lunghezza di circa 2087.71 m mentre la seconda (Valfontanabuona) con sviluppo di circa 2584.58 m.

Tra le due gallerie, in località Arboccò, si avrà una sezione all'aperto dove sarà ubicata barriera amovibile per consentire l'eventuale intervento di mezzi di soccorso. In tale finestra, nella corsia direzione Valfontanabuona, è prevista l'introduzione di una piazzola di sosta al fine di permettere l'arresto del personale preposto alla manutenzione (sia ordinaria che straordinaria) degli impianti delle gallerie.

In previsione di una futura riqualifica della sezione stradale le dimensioni delle gallerie sono tali da poter accogliere una delle due carreggiate aventi le dimensioni previste dal DM2001 relative ad una strada di categoria A in ambito extraurbano.

Nella progettazione si è fatto riferimento all' intervallo di velocità di progetto compreso tra 50 km/h e 80 km/h., incrementando pertanto l'intervallo di 40-60km/h indicato dalla normativa. Questa scelta progettuale è legata alle caratteristiche geometrie planimetriche del tracciato che presenta delle singolarità rilevanti rispetto alle consuete rampe di svincolo autostradali. Gli aspetti determinanti che hanno fatto protendere per l'innalzamento delle velocità minime e massime di verifica sono l'estensione del tracciato (5.6km) e l'adozione di curve di ampio raggio.

3.2.2.1 Sezioni tipo della rampa

Per quanto riguarda le larghezze degli elementi modulari della Rampa Principale si è prevista una corsia per senso di marcia di larghezza pari 4 m con due banchine di dimensioni pari a 1 m. Le corsie saranno Esternamente, a contenimento dell'eventuale veicolo in svio, si è previsto un altro profilo redirettivo.

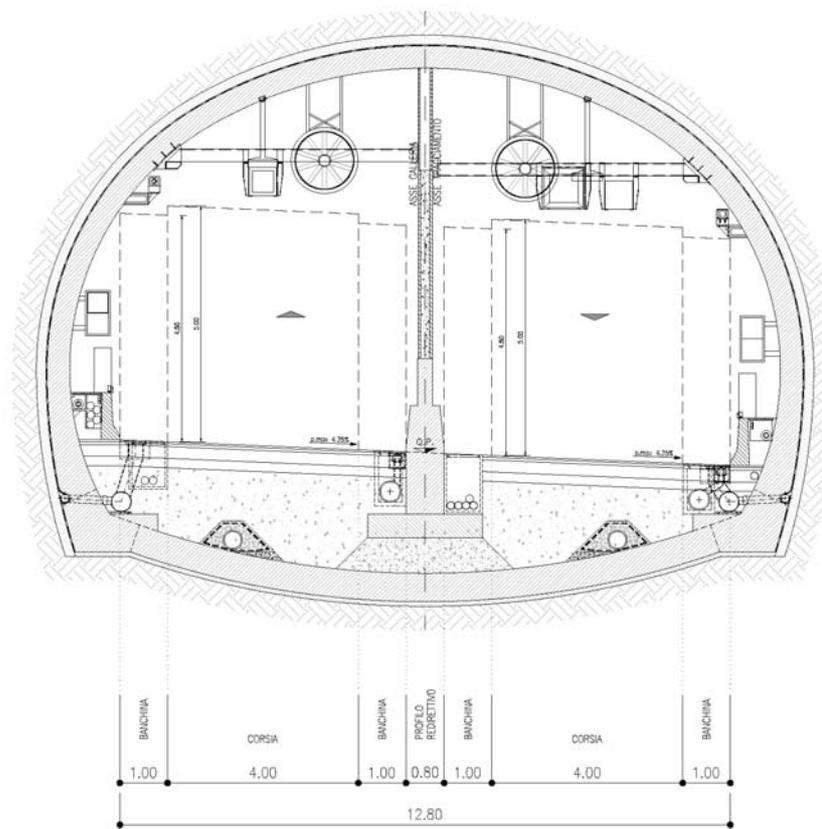


Figura 16 – Sezione tipo in galleria

La sezione adottata risulta quindi conforme con quanto previsto dalla normativa vigente e riportato nel paragrafo 3.2.2.2

Allo scopo di ottimizzare la raccolta delle acque di piattaforma la pendenza trasversale si è considerata con inclinazione costante anche in rettilo per ambo le direzioni: nella Galleria Caravaggio la pendenza trasversale, in virtù dell'esclusiva presenza di curve in destra si è mantenuta costante verso il ciglio destro. Nella Galleria Valfontanabuona, essendo caratterizzata esclusivamente da curve in sinistra la pendenza è stata mantenuta, anche in rettilo con ciglio più basso in sinistra.

Il passaggio da una pendenza costante in destra a una costante in sinistra avverrà nel tratto all'aperto di Arbocò.

3.2.2.2 **Andamento plano-altimetrico di progetto**

La rampa in progetto si sviluppa tra la progressiva km 0 (situata in corrispondenza del nuovo svincolo sull'autostrada A12) alla quota di 111.49 metri s.l.m. e la progressiva km 5+550.43 (in corrispondenza dell'attacco con la Strada Provinciale n.22) alla quota di 208.10 metri s.l.m.

In tabella 38 vengono sintetizzate le caratteristiche degli elementi planimetrici che compongono l'asse della rampa principale. In colonna (5) è riportato il 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

In colonna (7) è indicato il verso di percorrenza delle curve circolari nella direzione delle progressive crescenti (DX = curva destrorsa, SX = curva sinistrorsa), in colonna (8) il valore di pendenza trasversale.

Elem	ProgrInizio (m)	ProgrFine (m)	Lungh. (m)	TipoElem	Parametro	Vs	ic
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	0.000	82.872	82.872	R			
2	82.872	315.898	233.026	AT	358.00		
3	315.898	574.441	258.543	C	550.00	DX	4.25
4	574.441	807.467	233.026	AT	358.00		
5	807.467	1,189.263	381.796	R			
6	1,189.263	1,389.263	200.000	AT	600.00		
7	1,389.263	2,280.596	891.333	C	1800.00	DX	2.50
8	2,280.596	2,593.096	312.500	AF	750.00		
9	2,593.096	3,019.412	426.316	AF	900.00		
10	3,019.412	3,854.112	834.700	C	1900.00	SX	2.50
11	3,854.112	4,076.480	222.368	AT	650.00		
12	4,076.480	5,138.150	1061.670	R			
13	5,138.150	5,351.308	213.158	AT	450.00		
14	5,351.308	5,575.802	224.494	C	950.00	DX	2.99

Tabella 38 Riepilogo caratteristiche planimetriche Rampa Principale

Da un punto di vista planimetrico il tracciato prevede quindi un raggio di curvatura minimo $R_{\min} = 550\text{m}$.

3.2.2.3 *Analisi del progetto con riferimento al DM 19/04/2006*

3.2.2.3.1 *Analisi planimetrica e diagrammi di velocità*

Il tracciato in progetto è stato sviluppato considerando quanto previsto dal DM 19/04/2006 e quindi in ottemperanza alle "Norme geometriche e funzionali per la costruzione delle strade" contenuti nel DM 5/11/2001 che risulta cogente. L'intera rampa risulta conforme ai criteri di composizione geometrica per le lunghezze massime e minime dei rettifili, lo sviluppo delle curve circolari ed i criteri ottici e cinematici delle curve a raggio variabile. Nelle seguenti tabelle si riportano le verifiche per entrambi i sensi di percorrenza della rampa.

Elem	ProgrInizio (m)	ProgrFine (m)	Lungh. (m)	TipoElem	Parametro	Vs	ic	Vp
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	0.000	82.872	82.872	R				80.0
2	82.872	315.898	233.026	AT	358.00			80.0
3	315.898	574.441	258.543	C	550.00	DX	4.25	80.0
4	574.441	807.467	233.026	AT	358.00			80.0
5	807.467	1'189.263	381.796	R				80.0
6	1'189.263	1'389.263	200.000	AT	600.00			80.0
7	1'389.263	2'280.596	891.333	C	1800.00	DX	2.50	80.0
8	2'280.596	2'593.096	312.500	AF	750.00			80.0
9	2'593.096	3'019.412	426.316	AF	900.00			80.0
10	3'019.412	3'854.112	834.700	C	1900.00	SX	2.50	80.0
11	3'854.112	4'076.480	222.368	AT	650.00			80.0
12	4'076.480	5'254.941	1178.461	R				80.0
13	5'254.941	5'304.941	50.000	AT	150.00			63.7
14	5'304.941	5'351.747	46.806	C	450.00	DX	4.83	54.2
15	5'351.747	5'401.747	50.000	AT	150.00			45.4
16	5'401.747	5'550.432	148.685	R				43.8

Tabella 39 Verifiche planimetriche Rampa Principale progressive crescenti

Elem	ProgrInizio (m)	ProgrFine (m)	Lungh. (m)	TipoElem	Parametro	Vs	ic	Vp
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	0.000	82.872	82.872	R				80.0
2	82.872	315.898	233.026	AT	358.00			80.0
3	315.898	574.441	258.543	C	550.00	DX	4.25	80.0
4	574.441	807.467	233.026	AT	358.00			80.0
5	807.467	1'189.263	381.796	R				80.0
6	1'189.263	1'389.263	200.000	AT	600.00			80.0
7	1'389.263	2'280.596	891.333	C	1800.00	DX	2.50	80.0
8	2'280.596	2'593.096	312.500	AF	750.00			80.0
9	2'593.096	3'019.412	426.316	AF	900.00			80.0
10	3'019.412	3'854.112	834.700	C	1900.00	SX	2.50	80.0
11	3'854.112	4'076.480	222.368	AT	650.00			80.0
12	4'076.480	5'254.941	1178.461	R				80.0
13	5'254.941	5'304.941	50.000	AT	150.00			63.7
14	5'304.941	5'351.747	46.806	C	450.00	DX	4.83	54.2
15	5'351.747	5'401.747	50.000	AT	150.00			45.4
16	5'401.747	5'550.432	148.685	R				43.8

Tabella 40 - Verifiche planimetriche Rampa Principale progressive decrescenti

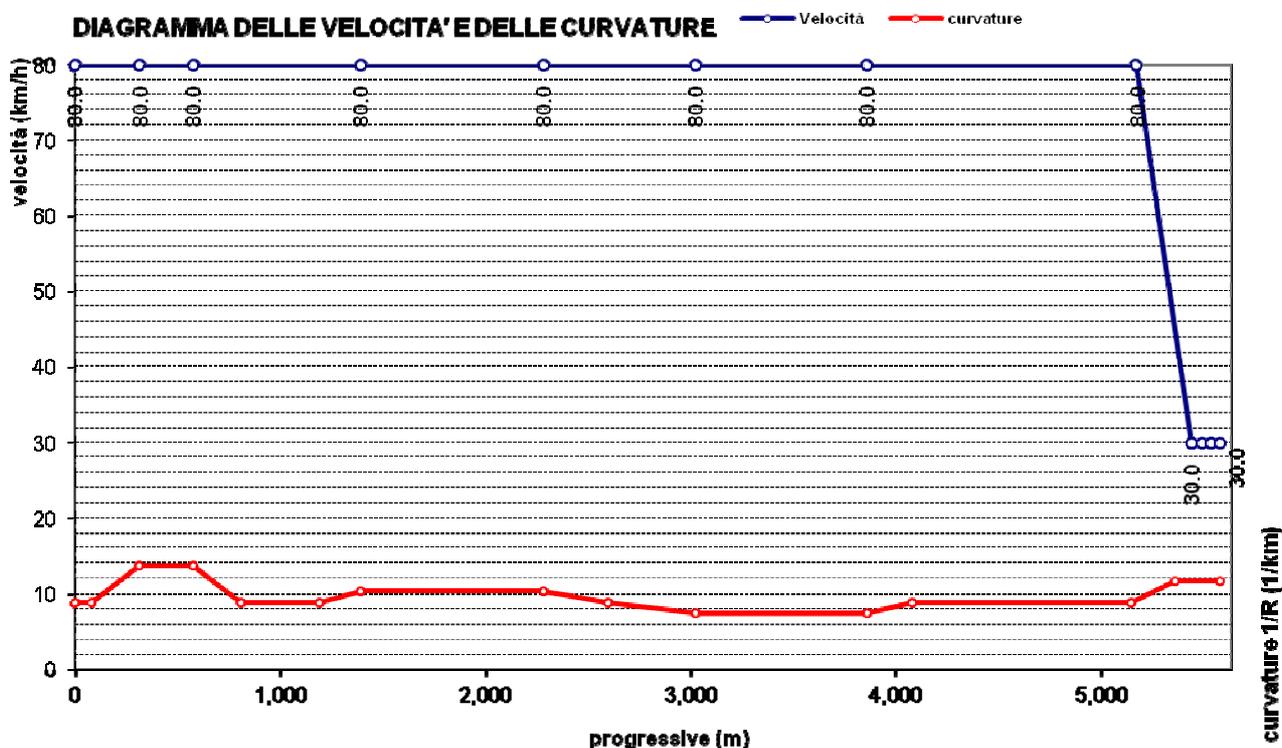


Figura 17 – Diagramma delle velocità e delle curvature Rampa Principale

La rampa, presenta una geometria planimetrica, che consente la percorrenza della rampa stessa con velocità contenute nell'intervallo di velocità. Pertanto il tracciato presenta caratteristiche congruenti alle indicazioni contenute nel DM 19/04/2006.

3.2.2.3.2 Analisi altimetriche

Analogo discorso vale per la visibilità altimetrica per l'arresto. Nelle tabelle seguenti sono riportati gli andamenti altimetrici e i risultati delle verifiche dei raccordi verticali concavi e convessi rispetto alla distanza di visibilità per l'arresto dei singoli assi.

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

- S = Raccordo verticale convesso (Sacca)
- D = Raccordo verticale concavo (Dosso)

In colonna (3) è indicata la progressiva del vertice, nelle colonne (7), (8) la pendenza di ogni livelletta. Infine, in colonna (9) il valore del raggio esistente, in colonna (12) il valore minimo per garantire la distanza di arresto calcolata con riferimento alla velocità desunta dal diagramma delle velocità, in colonna (14) il valore di velocità ammissibile (velocità di progetto a cui corrisponde una distanza di arresto pari alla distanza di visuale libera effettivamente disponibile).

N	D/S	Pr.Vert	da	a	L	i1	i2	Rv	Vp	D	Rv,min
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1	D	310	1	620	619.52	5.77	1.50	14500	80.0	96.2	2484
2	D	935	860	1'010	150.00	1.50	1.20	50000	80.0	93.9	2364
3	S	3'928	3'528	4'328	800.00	1.20	2.80	50000	80.0	94.5	2078
4	D	5'133	4'882	5'385	503.25	2.80	-0.50	15250	80.0	93.7	2354
5	S	5'397	5'387	5'408	20.70	-0.50	1.30	1150	38.8	35.7	-
6	D	5'432	5'432	5'432	0.00	1.30	-1.30	0	30.3	26.7	-
7	S	5'491	5'468	5'514	46.14	-1.30	1.78	1500	43.8	41.3	700
8	S	5'537	5'532	5'542	10.19	1.78	3.57	567	33.0	29.8	-

Tabella 41 - Verifiche altimetriche Rampa Principale progressive crescenti

N	D/S	Pr.Vert	da	a	L	i1	i2	Rv	Vp	D	Rv,min
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(1)	(6)	(7)	(1)	(8)	(9)	(12)
1	D	310	1	620	619.52	5.77	1.50	14500	80.0	89.4	2146
2	D	935	860	1'010	150.00	1.50	1.20	50000	80.0	91.4	2239
3	S	3'928	3'528	4'328	800.00	1.20	2.80	50000	80.0	90.8	1977
4	D	5'133	4'882	5'385	503.25	2.80	-0.50	15250	80.0	91.5	2248
5	S	5'397	5'387	5'408	20.70	-0.50	1.30	1150	38.8	35.6	-
6	D	5'432	5'432	5'432	0.00	1.30	-1.30	0	30.3	26.7	-
7	S	5'491	5'468	5'514	46.14	-1.30	1.78	1500	43.8	41.2	697
8	S	5'537	5'532	5'542	10.19	1.78	3.57	567	33.0	29.2	-

Tabella 42 - Verifiche altimetriche Rampa Principale progressive decrescenti

I raccordi verticali risultano verificati per una velocità di progetto massima di 80 km/h.

3.2.2.3.3 -Distanze di visibilità

Secondo quanto indicato dalle "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" (Decreto Ministero del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 05/11/2001, prot. 6792) deve essere verificata rispetto alla velocità di progetto l'esistenza, lungo il tracciato, di visuali libere commisurate alla distanza di visibilità per l'arresto e ciò comporta che lungo il tracciato stradale la distanza di visuale libera deve essere confrontata con la 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.

Le verifiche condotte hanno messo in evidenza come la rampa, in entrambi i sensi di marcia, garantisce la distanza di visuale libera richiesta derivanti dalla velocità desunta dal diagramma delle velocità considerando una velocità di progetto V_P massima pari ad 80 km/h, senza necessità di applicare allargamenti alla sezione stradale corrente.

3.3 IL PROGETTO DI ADEGUAMENTO S.P. N.22

In virtù del fatto che l'intervento prevede l'adeguamento della Strada Provinciale n. 22 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 quindi a riferimento i criteri progettuali contenuti nella norma non cogente DM del 5.11.2001, prot. 6792.

In questa prospettiva, le scelte progettuali sono state ponderate sulla base di condizioni specifiche, quali il livello di urbanizzazione circostante, la sussistenza di problematiche geotecniche e strutturali, le eventuali ripercussioni di una modifica puntuale su porzioni estese di tracciato, l'esistenza di opere già predisposte o comunque compatibili con l'intervento di adeguamento.

In particolare, visti i notevoli costi che ne conseguirebbero e vista la particolare zona geologica in cui si inquadra l'intervento, si è cercato di limitare l'impatto della cantierizzazione e delle opere d'arte lato monte. Tale obiettivo è stato conseguito cercando di ridurre il più possibile la presenza di cantieri.

In sintesi, nel progetto di realizzazione dell'adeguamento, per definire le modalità di allargamento della sede esistente, sono stati adottati i seguenti criteri:

1. minimizzare l'impatto dell'adeguamento con il sistema antropico attraversato e quindi con la viabilità e con gli insediamenti abitativi ed industriali preesistenti;
2. minimizzare le occupazioni di territorio, per ridurre l'impatto ambientale dovuto all'intervento;
3. utilizzare quanto più possibile la sede stradale e le opere d'arte esistenti, al fine di ridurre l'impatto ambientale ed economico degli interventi, dal momento che si tratta di un progetto di adeguamento di una infrastruttura esistente;

4. prevedere una esecuzione per fasi dei lavori che garantisca l'esercizio dell'infrastruttura durante i lavori, con una sezione stradale appropriata.

Pertanto per la progettazione della viabilità in oggetto si è fatto riferimento a quanto previsto dalla normativa per le viabilità extraurbane secondarie, limitando però la velocità superiore a 60km/h, dimensionando i relativi elementi plano-altimetrici in funzione di questa velocità. L'adozione di un limite di velocità superiore ha consentito sia di rispondere ai criteri adottanti che all'esigenza di adottare geometrie più congrue al nuovo ruolo che verrà ad avere il tratto di provinciale compreso tra lo svincolo autostradale e l'sp.225.

3.3.1 ASSE STRADALE

Le scelte progettuali alla base dell'intervento di adeguamento sono state fortemente dettate dalla morfologia del terreno esistente infatti, trovandosi la strada a "mezza costa", allo scopo di evitare opere di sostegno lato monte, l'intero ampliamento della sede stradale avverrà lato valle (salvo alcuni interventi di carattere puntuale). Tale scelta, nonostante la rilevante entità delle opere di sostegno richieste, è stata obbligata dalla presenza lato monte di fronti franosi che avrebbero costretto ad utilizzare opere di sostegno più impegnative sia da un punto di vista economico che realizzativo.

Ricordando che:

- il D.M. 2001 è stato preso a puro riferimento;
- l'intervento avviene in una zona franosa e morfologicamente complesso;
- si è cercato di conservare quanto più possibile la sede stradale.

Per la progettazione della viabilità in oggetto si è fatto riferimento a quanto previsto dalla normativa per le viabilità extraurbane secondarie. Limitando però la velocità superiore a 60km/h, pertanto si sono adeguati i raggi delle curve circolari e le rispettive pendenze trasversali così come da normativa di riferimento.

Con riferimento all'andamento altimetrico il progetto presentava dei vincoli dettati sia dall'andamento longitudinale esistente sia dall'adeguamento delle pendenze trasversali che, soprattutto nella zone in curva ha causato un importante innalzamento della quota della livelletta al fine di non variare la quota dei cigli nel lato di monte. Altri vincoli sono stati dettati dalla presenza di accessi sia a edifici privati che attività produttive. L'attuale strada provinciale nel lato di monte presenta anche diverse intersezioni a raso lineari che verranno mantenute.

La pendenza massima longitudinale che si è dovuta imporre è pari al 8.00% per uno sviluppo di 558.66 m, tale valore è superiore di un punto percentuale rispetto a quanto indicato dalla normativa per le strade di categoria C, si tiene a precisare che i valori possono essere incrementati di una unità qualora non sia

pregiudizievole per la velocità e qualità del deflusso veicolare, nel caso specifico il tratto a pendenza massima è localizzato in prossimità della rotonda di svincolo e pertanto già caratterizzato da una modesta velocità veicolare, pertanto si può ritenersi accettabile. La pendenza media delle restanti livellette si attesta ad un valore di 5%.

Il progetto prevede infine l'adeguamento della pendenza trasversale della piattaforma che nei tratti in rettilineo passa dall'attuale 1.60÷2.00% al 2.50%, mentre in curva è stata adeguata secondo quanto indicato dalla normativa con pendenza massima pari al 7%.

3.3.1.1 Aspetti geometrici dell'infrastruttura di progetto

3.3.1.1.1 Sezione tipo

L'intervento prevede l'adeguamento della sezione trasversale adottando una sezione di progetto conforme a quanto previsto dal DM 05/11/2001 per la categoria C2 "strada extraurbana secondaria", a partire dalla progressiva 0+678 km, la banchina laterale è stata ridotta a 0.50m al fine di salvaguardare gli edifici esistenti presenti nella seconda metà del tracciato; questa scelta progettuale risulta comunque congrua con quanto previsto dalla normativa, in termini di banchina laterale, per una strada di tipo urbana la cui velocità massima risulta uguale a quella adottata (60km/h). La sezione tipo stradale prevede pertanto una piattaforma minima di 8.00 metri di larghezza, organizzata in una carreggiata con una corsia per senso di marcia da 3.50 m., fiancheggiate da banchine di larghezza pari a 1.25m fino alla pk 0+678m e a 0.50m nella restante porzione del tracciato.

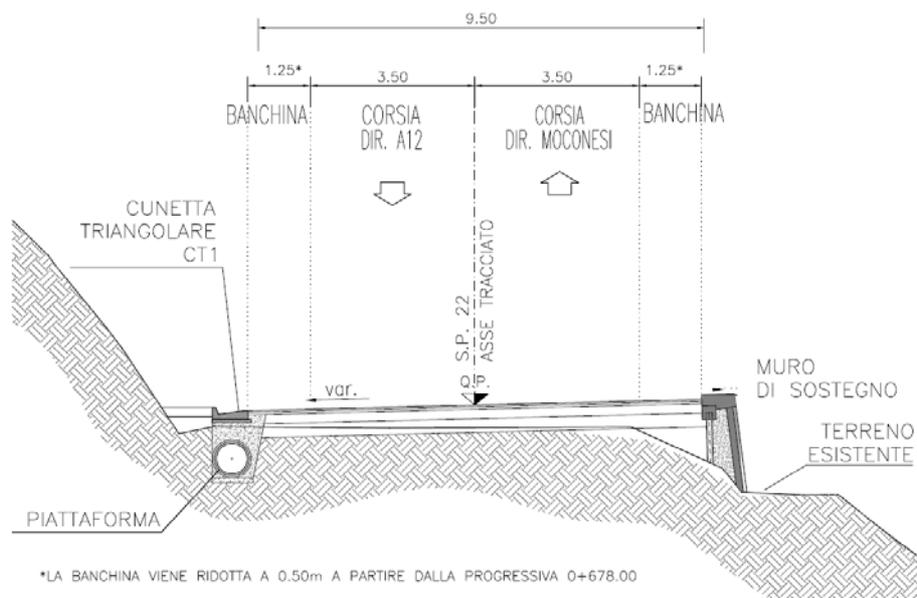


Figura 18 – Sezione tipo

3.3.1.1.2 Andamento plano-altimetrico di progetto

L'intervento sulla Strada Provinciale n. 22 si sviluppa tra la progressiva km 0 alla quota di 206.99 metri s.l.m. e la progressiva km 1+698.06 alla quota di 122.34 metri.

In Tabella 43 vengono sintetizzate le caratteristiche degli elementi planimetrici che compongono l'asse stradale. In colonna (5) è riportato il 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

In colonna (7) è indicato il verso di percorrenza delle curve circolari nella direzione delle progressive crescenti (DX = curva destrorsa, SX = curva sinistrorsa), in colonna (8) il valore di pendenza trasversale.

Elem	ProgrInizio (m)	ProgrFine (m)	Lungh. (m)	TipoElem	Parametro	Vs	ic
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	0.000	39.797	39.797	R			
2	39.797	63.602	23.805	AT	53.00		
3	63.602	101.652	38.050	C	118.00	SX	7.00
4	101.652	135.288	33.636	AT	63.00		
5	135.288	320.273	184.985	R			
6	320.273	360.620	40.348	AT	69.00		
7	360.620	409.932	49.312	C	118.00	DX	7.00
8	409.932	443.568	33.636	AF	63.00		
9	443.568	472.968	29.400	AF	63.00		
10	472.968	539.837	66.869	C	135.00	SX	7.00
11	539.837	572.103	32.267	AT	66.00		
12	572.103	678.185	106.082	R			
13	678.185	710.708	32.523	AT	71.00		
14	710.708	722.448	11.741	C	155.00	SX	7.00
15	722.448	754.971	32.523	AT	71.00		
16	754.971	810.618	55.648	R			
17	810.618	870.618	60.000	AT	120.00		
18	870.618	925.836	55.217	C	240.00	DX	7.00
19	925.836	969.586	43.750	AC	150.00		
20	969.586	995.893	26.308	C	450.00	DX	6.87
21	995.893	1'045.893	50.000	AT	150.00		
22	1'045.893	1'357.601	311.708	R			
23	1'357.601	1'396.801	39.200	AT	70.00		
24	1'396.801	1'404.778	7.976	C	125.00	SX	7.00
25	1'404.778	1'435.530	30.752	AF	62.00		
26	1'435.530	1'471.442	35.912	AF	67.00		
27	1'471.442	1'495.935	24.493	C	125.00	DX	7.00
28	1'495.935	1'530.480	34.546	AC	100.00		
29	1'530.480	1'698.062	167.582	C	220.00	DX	7.00

Tabella 43 – Riepilogo caratteristiche planimetriche SP 22

3.3.1.2 *Analisi del progetto con riferimento al DM 6792 del 05.11.2001*

3.3.1.2.1 *Analisi Planimetrica*

Gli elementi planimetrici adottati risultano cinematicamente dimensionati per un intervallo di velocità pari a 40-50km/h. e la presenza di alcune non conformità minori di carattere ottico, quali il mancato sviluppo minimo delle curve circolari (g) e dei rettili (e), si ritiene che possano essere trascurate.

Elem	ProgrInizio (m)	ProgrFine (m)	Lungh. (m)	TipoElem	Parametro	Vs	ic	Vp	Lmin/max	Pmin/max	Verifica	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	0.000	39.797	39.797	R				36.0				
2	39.797	63.602	23.805	AT	53.00			41.5				
3	63.602	101.652	38.050	C	118.00	SX	7.00	50.4				
4	101.652	135.288	33.636	AT	63.00			58.0				
5	135.288	320.273	184.985	R				60.0				
6	320.273	360.620	40.348	AT	69.00			60.0				
7	360.620	409.932	49.312	C	118.00	DX	7.00	60.0		184.99	NO	(b)
8	409.932	443.568	33.636	AF	63.00			60.0				
9	443.568	472.968	29.400	AF	63.00			60.0				
10	472.968	539.837	66.869	C	135.00	SX	7.00	60.0				
11	539.837	572.103	32.267	AT	66.00			60.0				
12	572.103	678.185	106.082	R				60.0				
13	678.185	710.708	32.523	AT	71.00			60.0				
14	710.708	722.448	11.741	C	155.00	SX	7.00	60.0	41.67		NO	(g)
15	722.448	754.971	32.523	AT	71.00			60.0				
16	754.971	810.618	55.648	R				60.0				
17	810.618	870.618	60.000	AT	120.00			60.0				
18	870.618	925.836	55.217	C	240.00	DX	7.00	60.0				
19	925.836	969.586	43.750	AC	150.00			60.0		150.00		
20	969.586	995.893	26.308	C	450.00	DX	6.87	60.0	41.67		NO	(g)
21	995.893	1'045.893	50.000	AT	150.00			60.0		150.00		
22	1'045.893	1'357.601	311.708	R				60.0				
23	1'357.601	1'396.801	39.200	AT	70.00			60.0				
24	1'396.801	1'404.778	7.976	C	125.00	SX	7.00	60.0	41.67	400.00	NO	(b) (c) (g)
25	1'404.778	1'435.530	30.752	AF	62.00			60.0				
26	1'435.530	1'471.442	35.912	AF	67.00			60.0				
27	1'471.442	1'495.935	24.493	C	125.00	DX	7.00	60.0	41.67		NO	(g)
28	1'495.935	1'530.480	34.546	AC	100.00			60.0				
29	1'530.480	1664.361	133.88	C	220.00	DX	7.00	60.0				

Tabella 44–Verifiche planimetriche SP 22 progressive crescenti

Elem	ProgrInizio (m)	ProgrFine (m)	Lungh. (m)	TipoElem	Parametro	Vs	ic	Vp	Lmin/max	Pmin/max	Verifica	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	
1	0.000	39.797	39.797	R				36.0				
2	39.797	63.602	23.805	AT	53.00			41.5				
3	63.602	101.652	38.050	C	118.00	SX	7.00	50.4				
4	101.652	135.288	33.636	AT	63.00			58.0				
5	135.288	320.273	184.985	R				60.0				
6	320.273	360.620	40.348	AT	69.00			60.0				
7	360.620	409.932	49.312	C	118.00	DX	7.00	60.0				
8	409.932	443.568	33.636	AF	63.00			60.0				
9	443.568	472.968	29.400	AF	63.00			60.0				
10	472.968	539.837	66.869	C	135.00	SX	7.00	60.0				
11	539.837	572.103	32.267	AT	66.00			60.0				
12	572.103	678.185	106.082	R				60.0				
13	678.185	710.708	32.523	AT	71.00			60.0				
14	710.708	722.448	11.741	C	155.00	SX	7.00	60.0	41.67		NO	(g)
15	722.448	754.971	32.523	AT	71.00			60.0				
16	754.971	810.618	55.648	R				60.0				
17	810.618	870.618	60.000	AT	120.00			60.0				
18	870.618	925.836	55.217	C	240.00	DX	7.00	60.0				
19	925.836	969.586	43.750	AC	150.00			60.0				
20	969.586	995.893	26.308	C	450.00	DX	6.87	60.0	41.67		NO	(g)
21	995.893	1'045.893	50.000	AT	150.00			60.0				
22	1'045.893	1'357.601	311.708	R				60.0				
23	1'357.601	1'396.801	39.200	AT	70.00			60.0				
24	1'396.801	1'404.778	7.976	C	125.00	SX	7.00	60.0	41.67		NO	(g)
25	1'404.778	1'435.530	30.752	AF	62.00			60.0				
26	1'435.530	1'471.442	35.912	AF	67.00			60.0				
27	1'471.442	1'495.935	24.493	C	125.00	DX	7.00	60.0	41.67	137.55	NO	(c) (g)
28	1'495.935	1'530.480	34.546	AC	100.00			60.0				
29	1'530.480	1664.361	133.88	C	220.00	DX	7.00	60.0				

Tabella 45 – Verifiche planimetriche SP 22 progressive decrescenti

Nella Figura sottostante si riporta il diagramma delle velocità determinati come previsto al punto 5.4 del D.M. n. 5/11/2001; nella medesima figura è riportato, per comodità di lettura, anche l'andamento delle curvature planimetriche.

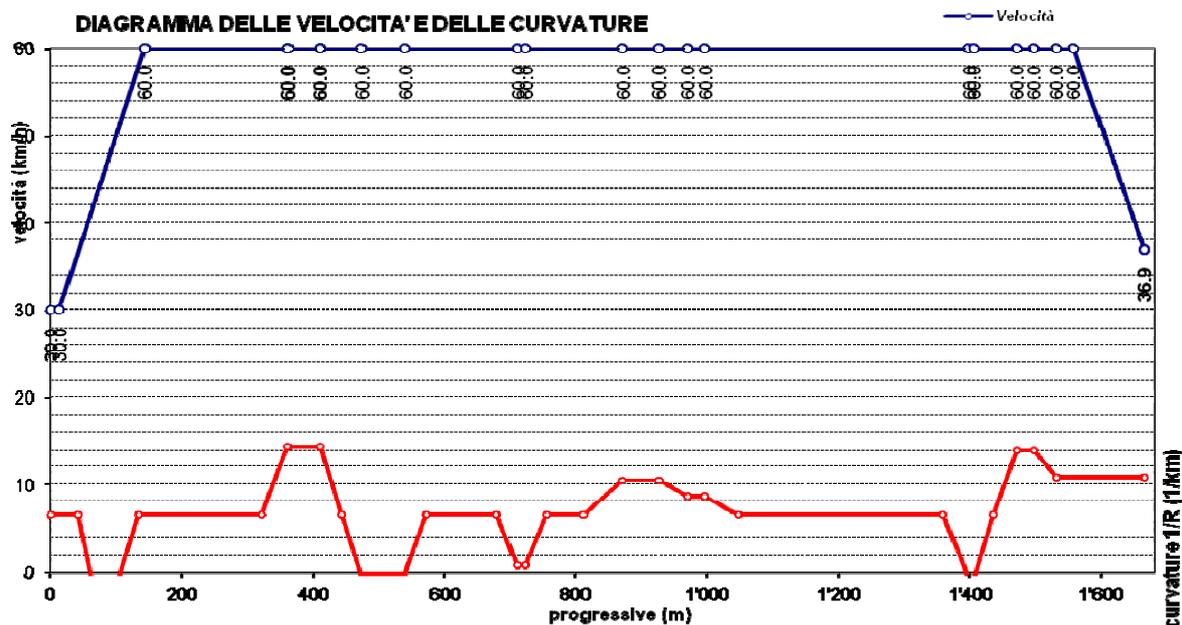


Figura 19 – Diagramma delle velocità e delle curvature sp.22

Il diagramma delle velocità risulta influenzato agli estremi dalle rotatorie; dove si è convenzionalmente imposta una velocità di 30km/h.

3.3.1.2.2 Analisi Altimetrica

Con riferimento alla visibilità altimetrica per l'arresto i raccordi verticali risultano tutti verificati per una velocità pari a 60km/h, su pavimentazione bagnata.

N	D/S	Pr.Vert	da	a	L	i1	i2	Rv	Vp	D	Rv,min
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1	D	3	0	6	6.39	-3.28	-3.61	1900	32.0	31.3	-
2	D	35	21	50	29.60	-3.61	-8.00	675	38.4	40.3	-
3	S	594	534	655	120.85	-8.00	-0.20	1550	60.0	74.5	1541
4	D	701	655	748	92.97	-0.20	-6.55	1465	60.0	73.8	1460
5	S	779	763	796	32.76	-6.55	-4.37	1500	60.0	75.9	-
6	D	810	796	823	26.48	-4.37	-6.77	1100	60.0	76.0	-
7	S	866	824	908	83.68	-6.77	-3.21	2350	60.0	75.4	1566
8	D	948	921	976	55.47	-3.21	-7.04	1450	60.0	75.6	1404
9	S	1'001	988	1'013	25.81	-7.04	-5.71	1950	60.0	77.0	-
10	D	1'232	1'220	1'244	24.59	-5.71	-6.21	5000	60.0	76.5	-
11	S	1'421	1'302	1'541	238.59	-6.21	0.81	3400	60.0	73.1	1505

Tabella 46 –Verifiche altimetriche SP 22 - distanza di arresto per progressive crescenti

N	D/S	Pr.Vert	da	a	L	i1	i2	Rv	Vp	D	Rv,min
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(1)	(6)	(7)	(1)	(8)	(9)	(12)
1	D	3	0	6	6.39	-3.28	-3.61	1900	32.0	30.0	-
2	D	35	21	50	29.60	-3.61	-8.00	675	38.4	37.0	-
3	S	594	534	655	120.85	-8.00	-0.20	1550	60.0	67.6	1361
4	D	701	655	748	92.97	-0.20	-6.55	1465	60.0	68.1	1246
5	S	779	763	796	32.76	-6.55	-4.37	1500	60.0	66.7	-
6	D	810	796	823	26.48	-4.37	-6.77	1100	60.0	66.7	-
7	S	866	824	908	83.68	-6.77	-3.21	2350	60.0	67.0	1346
8	D	948	921	976	55.47	-3.21	-7.04	1450	60.0	67.0	954
9	S	1'001	988	1'013	25.81	-7.04	-5.71	1950	60.0	66.2	-
10	D	1'232	1'220	1'244	24.59	-5.71	-6.21	5000	60.0	66.4	-
11	S	1'421	1'302	1'541	238.59	-6.21	0.81	3400	60.0	68.6	1387

Tabella 47 – Verifiche altimetriche SP 22 - distanza di arresto per progressive decrescenti

3.3.1.2.3 Distanze di Visibilità

Per quanto riguarda le distanze di visibilità planimetriche, il progetto ha realizzato complessivamente un sensibile miglioramento delle visuali libere eliminando la presenza di tratti in cui la distanza di visuale libera risultava inferiore alla distanza di arresto calcolata per una velocità di 50km/h considerando una pavimentazione bagnato. Questo è stato ottenuto grazie alla previsione degli allargamenti della banchina. Per completezza l'analisi è stata condotta, per una velocità massima di 60km/h (pari al limite inferiore dell'intervallo di velocità previsto dalla normativa per questa tipologia di viabilità e criterio adottato per il dimensionamento plano-altimetrico del tracciato) , apportando però gli allargamenti necessari per soddisfare il limite che verrà imposto pari a 50km/h.

Di seguito vengono riportati i tratti che presentano un allargamento della banchina:

Corsia in direzione Svincolo A12:

Dalla progressiva 1+396.80 alla progressiva 1+404.78 allargamento massimo della banchina pari a 0.25 m. in corrispondenza delle curve di raggio 125m.

Corsia in direzione Valfontabuona:

Dalla progressiva 0+360.62 alla progressiva 0+409.93 allargamento massimo della banchina pari a 0.90 m. in corrispondenza delle curve di raggio 118m.

Dalla progressiva 1+471.44 alla progressiva 1+495.93 allargamento massimo della banchina pari a 0.85 m. in corrispondenza delle curve di raggio 125 m.

Successivamente all'adozione degli opportuni allargamenti per ottenere le visibilità per l'arresto, si è condotta l'analisi planimetrica per la distanza di sorpasso, la quale ha evidenziato i tratti lunghi i quali si ha una carenza di visuale e dove pertanto andrà inibito il sorpasso.

3.3.2 VERIFICHE GEOMETRICHE DELLE ROTATORIE

Il progetto prevede due intersezioni a raso di tipo rotatorio: una denominata "rotatoria Aveno" in prossimità della barriera di esazione del "Collegamento tra la Valfontanabuona e l'autostrada A12 Genova-Roma", ed una denominata "rotatoria Moconesi" collocata lungo la SP n. 225 in corrispondenza dell'omonimo abitato.

Caratterizzata da tre rami, la rotatoria Aveno connette la nuova viabilità di collegamento autostradale con la viabilità ordinaria SP n. 225, mentre la rotatoria Moconesi, anch'essa caratterizzata da tre rami, sostituisce l'intersezione semaforizzata esistente fra la SP n. 225 e la SP 22; quest'ultima rotatoria è collocata al termine della SP 22 oggetto di adeguamento in prossimità della variante di attraversamento del Torrente Lavagna.

Nel presente paragrafo vengono illustrati i risultati riguardanti le verifiche condotte sulle geometrie e visuali libere delle due rotatorie previste dal progetto.

Gli elementi analizzati riguardano:

- Verifiche degli angoli di deviazione β ;
- Verifiche di visibilità.

I criteri adottati per le costruzioni geometriche sono quelli esposti nel paragrafo 3.2.3 "Intersezioni a rotatoria". Nel dettaglio i risultati sono i seguenti:

3.3.2.1 *Verifiche degli angoli di deviazione*

Entrambe le rotatorie oggetto di verifica presentano una configurazione a tre braccia; per le geometrie proprie di questo tipo di rotatorie, visto lo spaziamento dei rami di approccio all'intersezione (accessi/entrate sempre contigue) questo tipo di verifica non viene usualmente effettuato; in ogni caso nella redazione del progetto, tenuto conto dei particolari vincoli al contorno si è cercato di bilanciare il più possibile lo spaziamento dei rami al fine di incrementare opportunamente i valori dei β .

3.3.2.2 *Verifiche di visibilità*

La costruzione geometrica dei campi di visibilità secondo le specifiche previste dalla normativa di riferimento (DM2006), ha messo in evidenza la presenza di aree sensibili. Relativamente a dette aree, il progetto non prevede tuttavia l'istallazione di oggetti configurabili come ostacoli alla visuale libera (es. barriere sicurezza e/o altri manufatti), consentendo di fatto all'utenza in approccio alla rotatoria di avere una corretta percezione del quarto di anello in sinistra. Pertanto si ritiene che le geometrie e gli spazi di visuale libera delle rotatorie in esame soddisfino le verifiche di visibilità corrispondenti.

Di seguito si riportano le schede di sintesi delle verifiche condotte per ciascuna rotatoria, inoltre si riportano le analisi di ingombro cinematico dei mezzi pesanti.

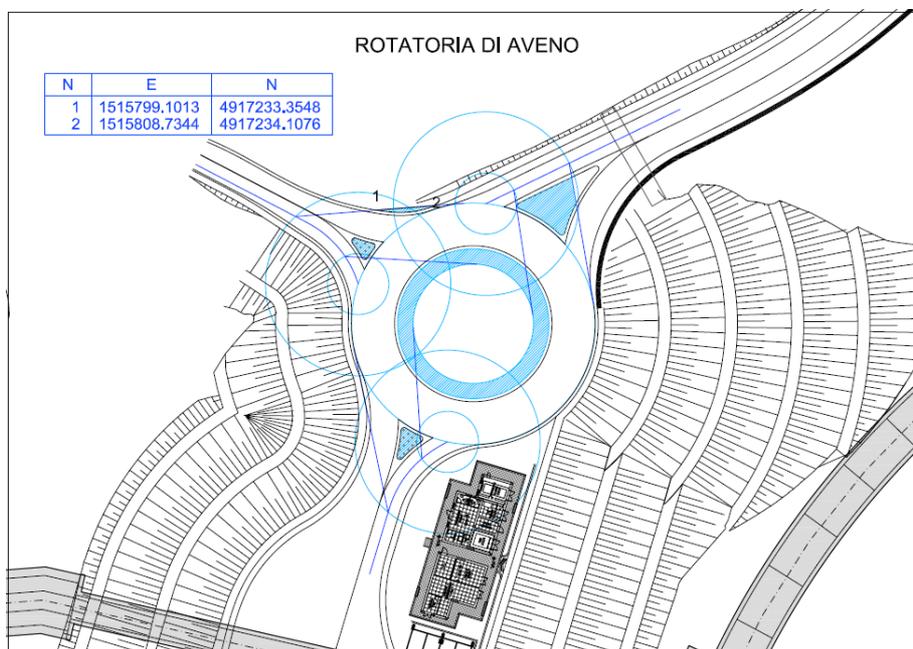


Figura 20 – Rotatoria di Aveno, triangoli di visibilità

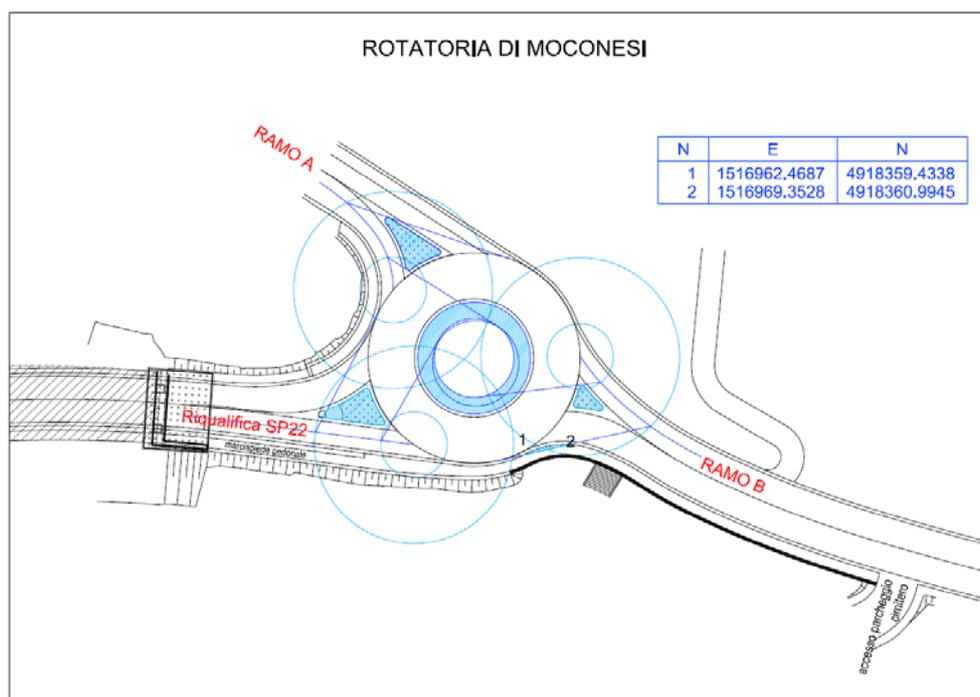


Figura 21 – Rotatoria di Moconesi, triangoli di visibilità

3.3.2.3 Verifiche di iscrivibilità dei veicoli

Benchè non espressamente previsto nella norma di riferimento (DM 2006) si è provveduto tramite apposito software (autotrack) a verificare che le geometrie delle rotonde e corrispondenti spazi di manovra disponibili consentissero una corretta iscrizione dei veicoli in transito. In particolare tale verifica è stata condotta su tutte le manovre utilizzando come veicolo critico un autoarticolato da 16.50m.

Le verifiche secondo quanto riportato nelle immagini seguenti, non hanno evidenziato la presenza di zone critiche e si ritengono pertanto superate.

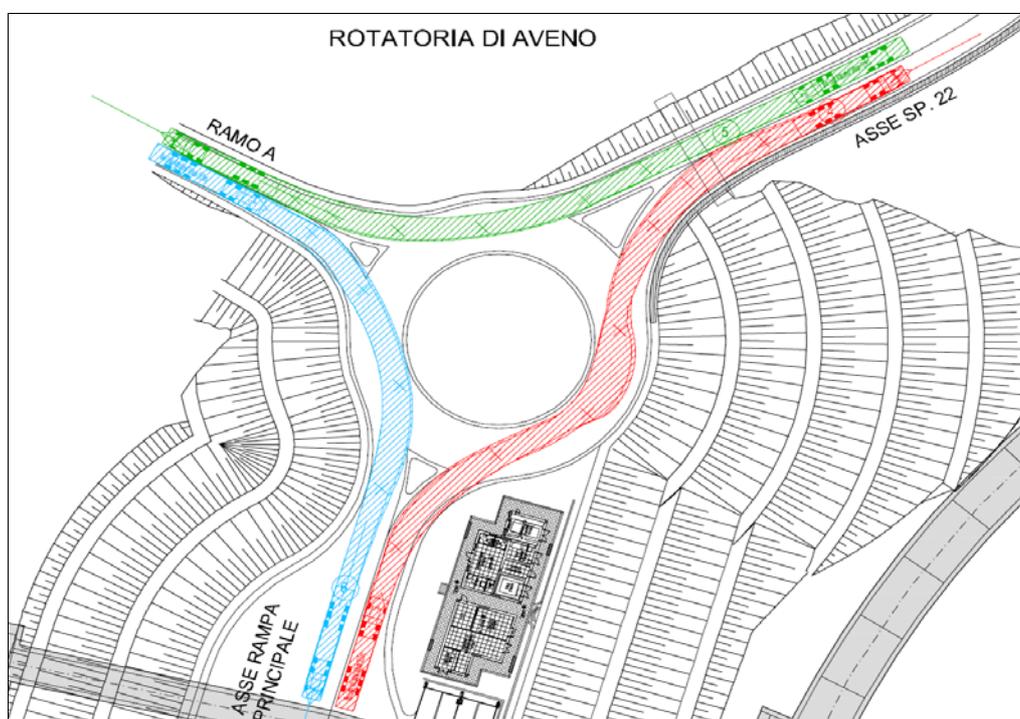


Figura 22 – Rotatoria di Aveno, ingombro cinematico mezzi pesanti

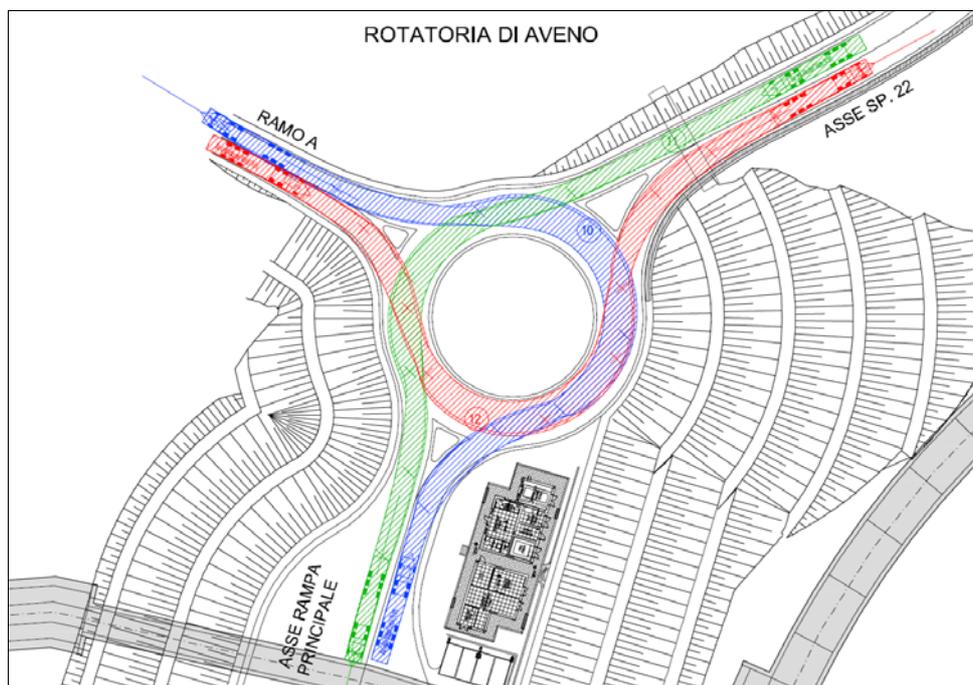


Figura 23 – Rotatoria di Aveno, ingombro cinematico mezzi pesanti

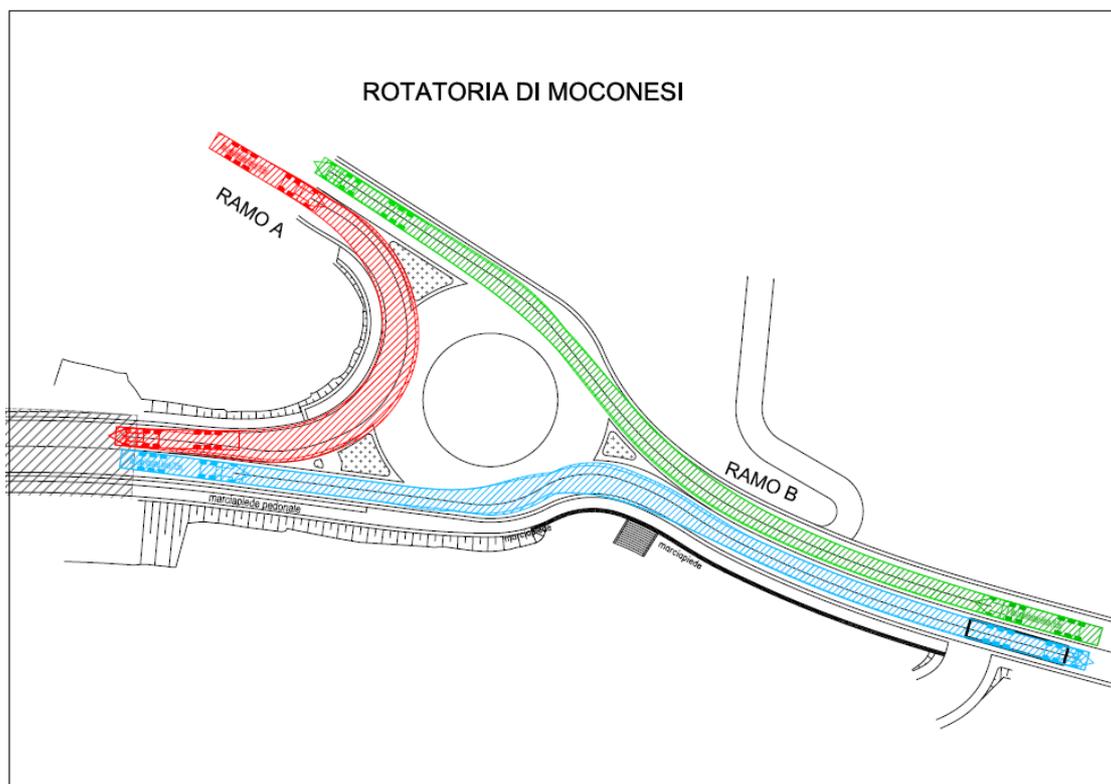


Figura 24 – Rotatoria di Moconesi, ingombro cinematico mezzi pesanti

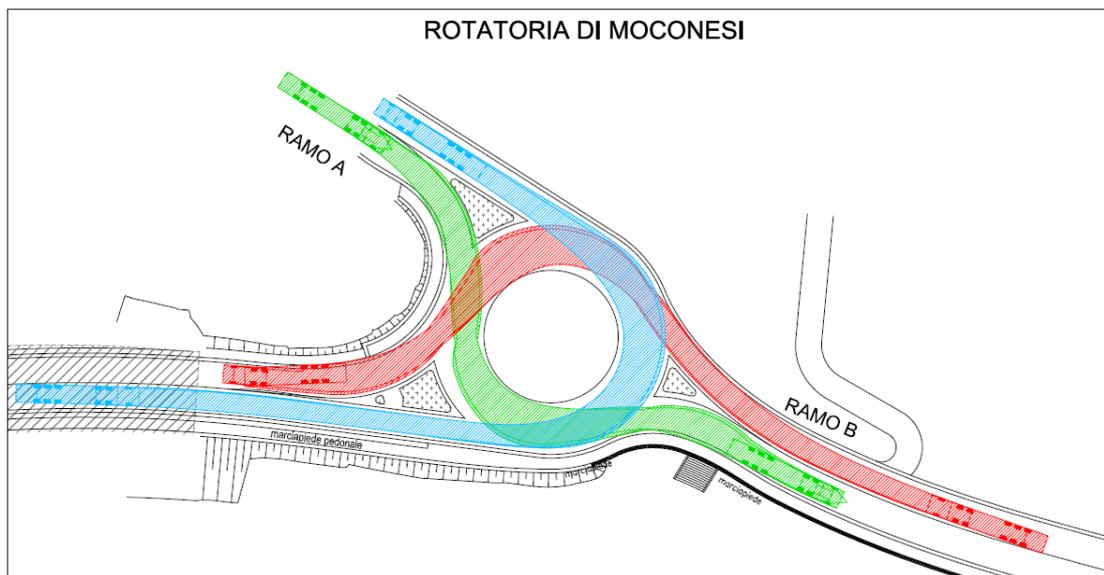


Figura 25 – Rotatoria di Moconesi, ingombro cinematico mezzi pesanti