

INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO STRADALE	3
2.1. Piattaforma stradale e sezioni tipo.....	6
2.1.1. Svincoli e rotatorie.....	8
2.1.2. Sovrastruttura stradale.....	8
2.2. Andamento planimetrico	9
2.3. Andamento altimetrico	10
3. PROGETTAZIONE ASSI STRADALI	12
3.1. Inquadramento Normativo	12
3.2. Criteri progettuali principali	13
3.2.1. Caratteristiche planimetriche.....	13
3.2.2. Caratteristiche altimetriche.....	17
3.2.3. Analisi di visibilità	19
3.2.4. Rappresentazione dei risultati	21
4. RISULTATI DELLE VERIFICHE DI CONGRUENZA CON LE NORMATIVE DI RIFERIMENTO	24
4.1. Assi stradali	24
4.1.1. Andamento planimetrico	24
4.1.2. Andamento altimetrico	24
4.1.3. Verifiche di visibilità.....	25

1. PREMESSA

Le viabilità di adduzione al sistema autostradale svolgono prevalentemente la funzione di raccordo diretto ai caselli autostradali poiché costituiscono viabilità principali col compito di drenare il traffico verso l'Autostrada stessa. Tali opere, già presenti nella pianificazione sovraordinata e/o di settore, se realizzate contemporaneamente alla nuova Autostrada Regionale Cispadana, possono aumentare in modo rilevante l'intera efficienza della rete, generando un consistente miglioramento delle condizioni di mobilità di persone e merci all'interno del quadrante regionale interessato dalla nuova funzione autostradale.

Valutando la localizzazione delle suddette opere infrastrutturali è possibile cogliere la sinergia funzionale che esse potranno esprimere relazionandosi con la nuova Autostrada Regionale Cispadana.

Le Viabilità di adduzione previste suddivise per Provincie sono le seguenti:

➤ Viabilità di adduzione previste in Provincia di Parma

- ❑ D01 (ex 1PR) - Riqualficazione della S.P. n° 72 "Parma-Mezzani" D01 (ex 1PR);

➤ Viabilità di adduzione previste in Provincia di Reggio Emilia

- ❑ D02 (ex 1RE) - Variante alla SP n° 41 in corrispondenza del tracciato Cispadano - tratto tra SP n° 60 e Brescello);
- ❑ D03 (ex 2RE) - Cispadana tra la S.P. n° 2 "Reggiolo - Gonzaga" e la ex S.S.n° 62 "della Cisa" D03.

➤ Viabilità di adduzione provincia di Ferrara

- ❑ D04 – D05- D06 - D07 (ex 1FE) Raccordo Bondeno – Cento – Autostrada Cispadana.

Le prime tre (Riqualficazione della S.P. n° 72 "Parma-Mezzani", Cispadana tra la S.P. n° 2 "Reggiolo - Gonzaga" e la ex S.S.n° 62 "della Cisa", Variante alla SP n° 41 in corrispondenza del tracciato Cispadano - tratto tra SP n° 60 e Brescello) ottengono il significativo risultato di completare l'Asse Cispadano fino alla provincia di Parma, mettendo in diretto collegamento i territori di Parma – Reggio – Modena – Ferrara con il Mare Adriatico, oltre che portare grande beneficio sia all'Autostrada stessa in termini di traffico che ai predetti territori in termini di collegamento interprovinciale, anticipando alla fase di realizzazione dell'Autostrada stessa l'attuazione dell'atteso obiettivo del Piano Regionale Integrato dei Trasporti (PRIT), che individua in questo corridoio est-ovest uno degli elementi funzionali principali mancanti, per implementare il disegno strategico della mobilità regionale.

La quarta invece realizza il potenziamento della direttrice Nord-Sud (Raccordo Bondeno-Cento-Autostrada Cispadana), già programmata dalla Provincia di Ferrara, in quanto l'ambito territoriale interessato da questo potenziamento infrastrutturale denuncia da decenni una carenza di relazioni con il sistema della mobilità in genere, sia ferroviaria che stradale, ed un forte ritardo nell'attuazione di interventi risolutivi.

Oggetto della presente relazione è la viabilità di adduzione al sistema autostradale: **Raccordo Bondeno – Cento – Autostrada Cispadana** identificata dalla sigla **D07** corrispondente al tratto A1 che va dalla rotonda sulla S.P.66 alla rotonda all'intersezione con le vie Renazzo e Canne oggetto dell'intervento con Wbs D06 – Tratto A2.

2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO STRADALE

L'intervento si colloca in provincia di Ferrara all'interno del territorio del Comune di Cento.

Il tracciato stradale studiato, si propone di realizzare un nuovo collegamento fra il Comune di Cento e l'autostazione di Cento.

Il tracciato ha origine all'intersezione fra la SP.66 e la SP.6 via Nuova dove di recente è stata realizzata una rotatoria, e termina a nord su via Canne oggetto di risezionamento nell'ambito dell'intervento della WBS D06 dove è prevista la realizzazione di una rotatoria.

L'intervento è totalmente in risezionamento sulla strada provinciale esistente che dalla larghezza attuale intorno a 6-7 m viene portata ad una larghezza di 9,5 m.

Poiché all'interno del tratto è presente una rotatoria all'intersezione con via Alberelli di recente costruzione che viene mantenuta, l'intervento è stato diviso in due tratti a sud e a nord di questa rotatoria esistente.

Il primo tratto misura 850 m, mentre il secondo 2113 m.

In entrambi i tratti la strada esistente è caratterizzata dalla presenza di numerosi accessi laterali in corrispondenza di abitazioni e numerose strade laterali che si innestano.

Poiché sono presenti per lunghi tratti dei filari di alberi da entrambi i lati della strada esistente si è scelto il criterio di allargare la strada ove possibile preferibilmente solo su un lato sacrificando il filare di alberi solo su quel lato della strada e mantenendo quello sull'altro lato, ma mantenendo una distanza tale dalle alberature da consentire il montaggio di un guardrail di protezione compreso il suo spazio di funzionamento (W).

Nel secondo tratto si ha il parallelismo con lo scolo Guadora ed il canale Corporeno e per entrambi si rendono necessarie delle deviazioni parziali.

I tracciati planimetrici nel rispetto di questi numerosi vincoli hanno un andamento sinuoso che porta ad avere l'allargamento della strada una volta a destra ed una volta a sinistra della strada esistente. Per le deviazioni si sono utilizzati ampi raggi che non richiedono l'applicazione di sopraelevazione.

Di seguito viene fatta una breve descrizione dell'asse principale.

Asse A1 (DCS07) primo tratto

Esso presenta giacitura prevalentemente sud-nord e si sviluppa per un'estesa complessiva pari a Km 0+849.28.

Il tracciato si colloca alla stessa quota della strada esistente di cui è prevista la demolizione ed il rifacimento della pavimentazione.

L'asse di progetto (denominato asse "A1a") ha, quindi, origine in corrispondenza della rotatoria all'intersezione fra la SP.66 e la SP.6 e da qui prosegue in direzione nord, con allargamento della sede stradale esistente prima verso est e poi verso ovest. Lo spostamento avviene tramite due flessi con curve da raggio 5250 m che per le strade di

tipo C ed F non richiedono sopraelevazione e posso essere assimilate a rettilinei.

E' posto un limite alla velocità di progetto a partire dalla progressiva 478,00 m con Vp limitata a 80 Km/h a causa delle numerose abitazioni presenti ai lati della strada su entrambi i lati.

Asse A1 (DCS07) secondo tratto

Esso presenta giacitura prevalentemente sud-nord e si sviluppa per un'estesa complessiva pari a Km 2+113.44.

Il tracciato si colloca alla stessa quota della strada esistente di cui è prevista la demolizione ed il rifacimento della pavimentazione.

L'asse di progetto (denominato asse "A1a") ha, quindi, origine in corrispondenza della rotatoria all'intersezione fra via Alberelli e la SP.6 e da qui prosegue in direzione nord, con allargamento delle sede stradale esistente prima verso est e poi verso ovest e quindi ancora verso est e poi verso ovest. Lo spostamento avviene tramite dei flessi con curve da raggio 5250 m che per le strade di tipo C ed F non richiedono sopraelevazione e posso essere assimilate a rettilinei. Alla progressiva 0+597,00 è presente un abitazione sul lato est in prossimità delle sede stradale per cui è stato necessario prevedere l'allargamento sul lato opposto provvedendo anche alla deviazione del canale Guadora. Per limitare la lunghezza di deviazione, in questo caso per il flesso di spostamento della strada si sono utilizzati dei raggi di 2000m, che in base alle deroghe del DM 05/11/2011 concesse dalla bozza del DM 21/03/2006 "Norma per gli interventi di adeguamento delle strade esistenti" e alla velocità limitata possono essere utilizzati anche in questo caso senza l'applicazione della sopraelevazione senza l'utilizzo delle curve di transizione (clotoidi).

La velocità di progetto è stata limitata anche in questo caso fino alla progressi 1750 ad 80 Km/h per la presenza anche in questo caso di numerose abitazioni e/o intersezioni con strade laterali secondarie

Oltre alla deviazione parziale dello scolo Guadora è necessaria anche la deviazione di un lungo tratto del Canale Corporeno posto sul lato est della strada esistente.

Alla progressiva 1+134.05 è previsto il rifacimento del tombino idraulico esistente per l'attraversamento della strada dello scolo Guadora.

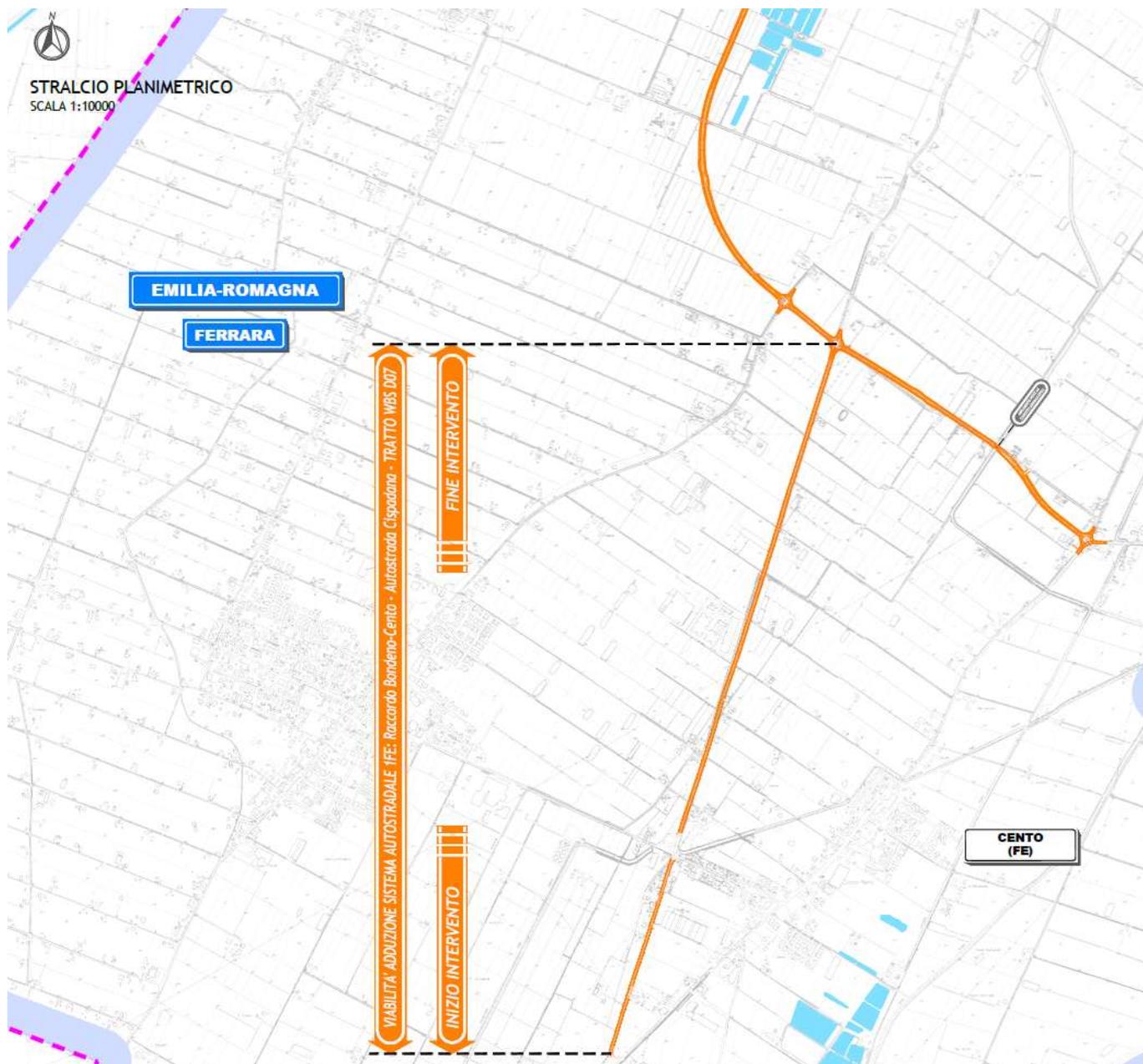


Figura 2-1 -Inquadramento territoriale Opera D07

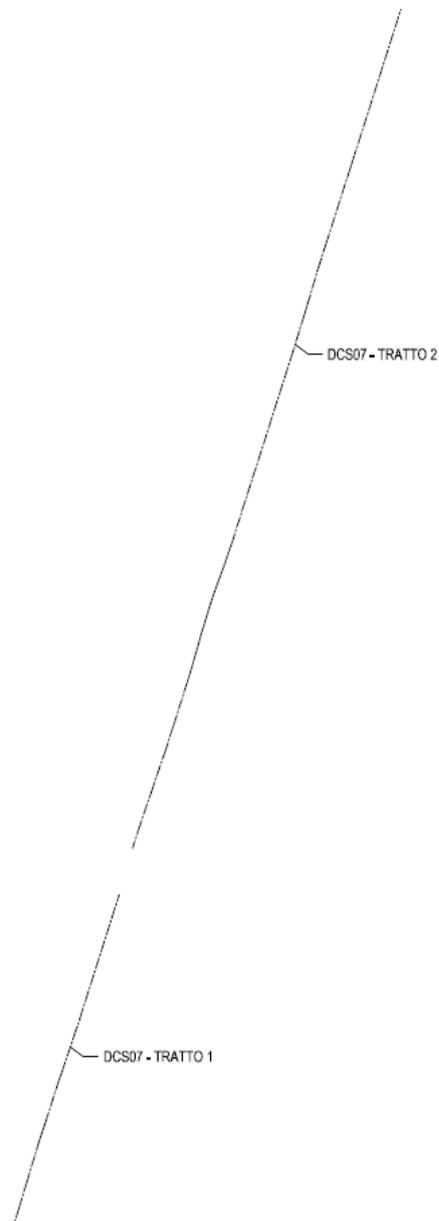


Figura 2-2 –Schema assi di tracciamento

2.1. Piattaforma stradale e sezioni tipo

Con riferimento alla sezione stradale tipo, secondo quanto previsto dalla normativa vigente del D.M. 05/11/2001 sono state adottate le seguenti piattaforme stradali: strada extraurbana secondaria Tipo C2 per l'asse principale "A2", mentre, per i restanti assi secondari, trattandosi di collegamenti di raccordo alle rotatorie con le viabilità comunali esistenti, sono state adottate delle piattaforme di categoria tipo F locali.

Strade tipo C2:

La piattaforma risulta costituita da due corsie di marcia oltre a banchina per una larghezza totale esclusi gli elementi marginali pari a 9,00 m. La pendenza trasversale corrente è pari al 2,50% verso l'esterno per ciascuna corsia (**figura 2.1**).

SEZIONE DI RISEZIONAMENTO DI STRADA ESISTENTE LATO DESTRO *

Scala 1:100

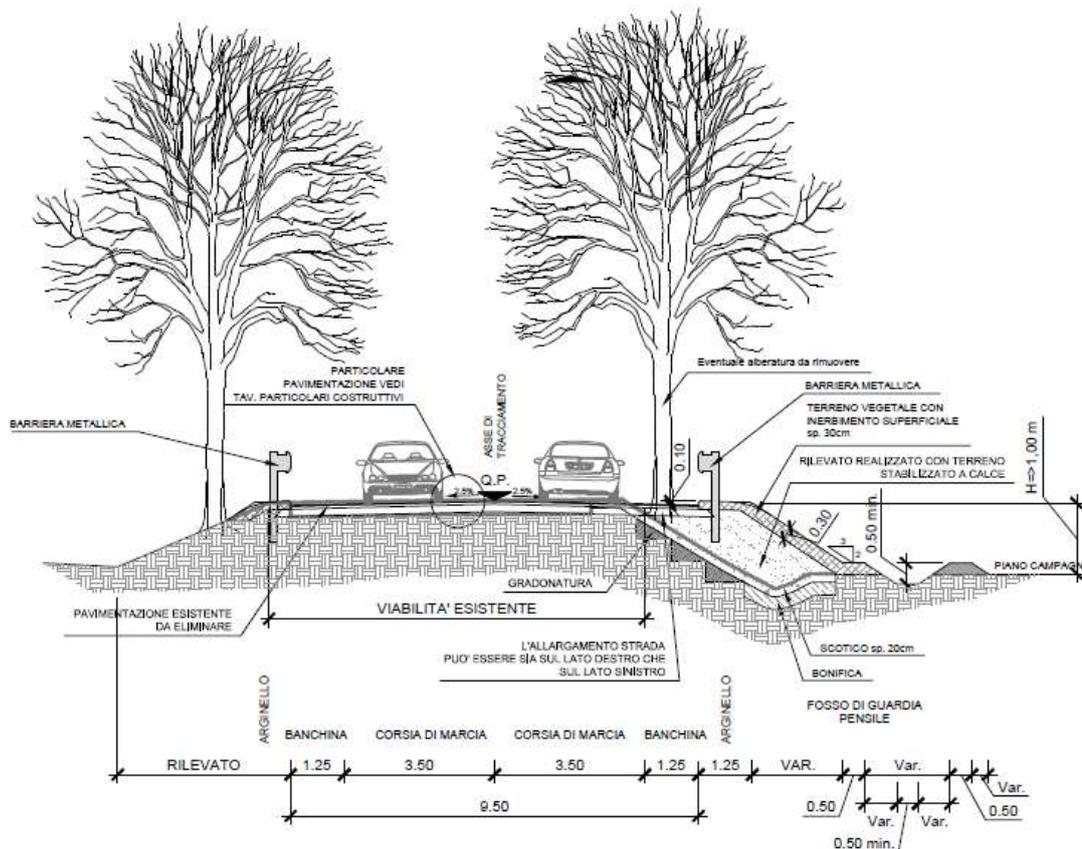


Figura 2. 1 Esempio di sezione tipo C2 in risezionamento

Le due corsie sono di larghezza pari a 3,50 m, la banchina è di larghezza pari a 1,25 m. Detti calibri sono stati mantenuti sia per le tratte in sede naturale che in sede artificiale (ponti e sottopassi).

Non si prevedono piazzole di sosta a causa delle presenza di numerosi accessi ed intersezioni.

Nei tratti in rilevato la piattaforma pavimentata è completata in destra e sinistra da arginelli in terra di larghezza pari a 1,30 m, rialzati di circa 10 cm dal piano del finito. L'arginello ha la funzione di consentire l'inserimento delle barriere di sicurezza e degli elementi componenti il sistema di smaltimento delle acque di piattaforma. Sempre in corrispondenza degli arginelli troveranno collocazione i pozzetti di ispezione per gli impianti tecnologici e, dove previste, ed i corpi illuminanti.

Le scarpate sono realizzate con pendenza 2/3: i primi 30 cm di terreno saranno di tipo vegetale al fine di facilitarne l'inerbimento delle scarpate.

La raccolta delle acque avviene mediante embrici, caditoie e canalette grigliate. Il recapito finale è costituito dal

fosso di guardia posizionato al piede del rilevato.

Il rilevato stradale viene realizzato su piano di posa preparato mediante scotico (sp= 20 cm). E' prevista un bonifica di spessore variabile in base alla progressiva per cui si rimanda alle relazioni specifiche per la completa definizione. Nei tratti in allargamento è prevista inoltre la lavorazione di gradonatura per meglio immergere il nuovo rilevato all'esistente.

2.1.1. Svincoli e rotatorie

L'intervento in oggetto non contiene svincoli o rotatorie, ma ha semplicemente origine e termine da rotatorie esistenti o di pertinenza di altri interventi.

Sono presenti numerose intersezioni con strada laterali peropiù poderali che sono stati ricucite e mantenute.

2.1.2. Sovrastruttura stradale

La sovrastruttura stradale prevede la seguente composizione:

- Strato di usura in splitt mastix asphalt. – sp. 3cm;
- Strato di collegamento in c.b. – sp. 7cm;
- Strato di base in c.b. – sp. 17 cm;
- Sottofondazione in materiale da rilevato – sp. min. 60 cm

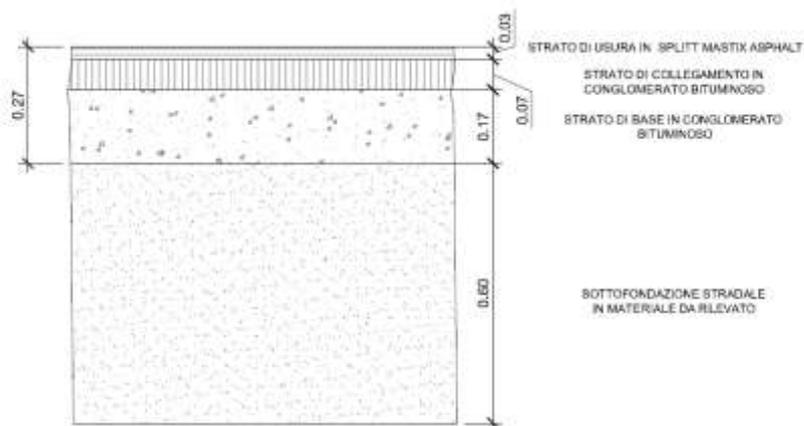


Figura 2.2 Composizione della sovrastruttura stradale

2.2. Andamento planimetrico

Nelle tabelle a seguire vengono sintetizzate le caratteristiche degli elementi planimetrici che compongono gli assi stradali. 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, mentre in colonna (9) è riportato per ogni elemento il valore massimo della velocità di progetto dedotto dal diagramma delle velocità.

Nella colonna (8) l'abbreviazione R significa l'adozione in curva della pendenza trasversale in discesa verso il margine esterno (falda in contropendenza) come quella in rettifilo.

1. Asse "A1-tratto 1" (DCS07)

Elem.	Progr Inizio (m)	Progr Fine (m)	Lunghezza (m)	Tipo Elem.	Parametro	Vs	Ic (%)	Vp (Km/h)
1	0.000	54.398	54.398	R			-2.500	52
2	54.398	130.504	76.107	C	5250	Sx	-2.500	100
3	130.504	249.574	119.070	C	5250	Dx	-2.500	100
4	249.574	282.051	32.477	R			-2.500	80
5	282.051	409.275	127.224	C	5250	Dx	-2.500	100
6	409.275	546.744	137.469	C	5250	Sx	-2.500	100
7	546.744	849.285	302.541	R			-2.500	60

2. Asse "A1-tratto 2" (DCS07)

Elem.	Progr Inizio (m)	Progr Fine (m)	Lunghezza (m)	Tipo Elem.	Parametro	Vs	Ic (%)	Vp (Km/h)
1	0.000	52.872	52.872	R			-2.500	52
2	52.872	150.603	97.730	C	5250	Dx	-2.500	80
3	150.603	306.245	155.643	C	5250	Sx	-2.500	80
4	306.245	423.885	117.640	R			-2.500	60
5	423.885	507.976	84.091	C	2000	Sx	-2.500	80
6	507.976	686.941	178.965	C	2000	Dx	-2.500	80
7	686.941	776.617	89.676	C	2000	Sx	-2.500	80
8	776.617	1246.145	469.529	R			-2.500	60
9	1246.145	1379.198	133.053	C	5250	Sx	-2.500	80
10	1379.198	1518.063	138.865	C	5250	Dx	-2.500	80
11	1518.063	1721.419	203.357	R			-2.500	60
12	1721.419	1735.189	13.769	C	5250	Sx	-2.500	80
13	1735.189	2137.253	402.065	R			-1.171	60

2.3. Andamento altimetrico

Il profilo altimetrico è costituito da tratti a pendenza costante (livellette) collegati da raccordi verticali convessi e concavi. I raccordi altimetrici si distinguono in convessi e concavi e sono realizzati mediante archi di parabola quadratica ad asse verticale, il cui sviluppo (L) viene calcolato con la seguente espressione:

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

dove Δi , espressa in percentuale, è la variazione di pendenza fra le due livellette da raccordare e R_v è il raggio del cerchio osculatore, nel vertice della parabola.

Nelle tabelle a seguire vengono sintetizzate le caratteristiche degli elementi altimetrici che compongono l'asse stradale e gli assi del percorso ciclo-pedonale. 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 (6), (7) e (8) rispettivamente l'inizio, la fine e lo sviluppo del raccordo, nelle colonne (9) e (10) la pendenza di ogni livelletta. Infine, in colonna (4) il valore del raggio di progetto.

1. Asse "A1 - tratto 1" (DCS07)

N	D/S	Progr.Vert	Rv	delta i (%)	Progr Inizio (m)	Progr Fine (m)	Lunghezza (m)	i1 (%)	i2 (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
0		0.0000							
1	D	26.7436	2000.0000	0.8985	17.7590	35.7283	17.9698	0.0000	-1.1889
2	S	234.4872	2000.0000	0.1903	232.5844	236.3901	3.8058	-1.1889	-0.2905
3	S	470.2137	2000.0000	-0.0309	469.9046	470.5229	0.6183	-0.2905	-0.1002
4	D	702.8775	2000.0000	0.1980	700.8972	704.8579	3.9607	-0.1002	-0.1311
5	S	849.2853						-0.1311	0.0669

2. Asse "A1 – tratto 2" (DCS07)

N	D/S	Progr.Vert	Rv	delta i (%)	Progr Inizio (m)	Progr Fine (m)	Lunghezza (m)	i1 (%)	i2 (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
0		0.0000						0.0000	-0.0458
1		361.6195	20000.0000	0.0463	356.9875	366.2514	9.2639	-0.0458	0.0005
2		728.7025	20000.0000	0.0231	726.3910	731.0141	4.6230	0.0005	0.0236
3		1066.4492	10000.0000	0.2013	1056.3847	1076.5136	20.1289	0.0236	0.2249
4		1140.1047	5000.0000	-1.0348	1114.2345	1165.9749	51.7408	0.2249	-0.8099
5		1189.8121	5000.0000	0.8386	1168.8477	1210.7765	41.9292	-0.8099	0.0287
6		1483.9089	5000.0000	0.3946	1474.0431	1493.7747	19.7317	0.0287	0.4233
7		1564.7463	5000.0000	-0.4061	1554.5943	1574.8984	20.3042	0.4233	0.0172
8		1767.1621	5000.0000	0.0290	1766.4377	1767.8864	1.4487	0.0172	0.0462
9		2006.8136	5000.0000	-0.0728	2004.9934	2008.6338	3.6404	0.0462	-0.0266
10		2110.3307	250.0000	2.0272	2107.7967	2112.8647	5.0684	-0.0266	2.0006
11		2121.4391	0.0000	-2.0006	2121.4391	2121.4391	0.0000	2.0006	0.0000
12		2137.2495							

3. PROGETTAZIONE ASSI STRADALI

3.1. Inquadramento Normativo

Per il quadro normativo si fa riferimento all'elaborato:

PD_0_0000_0000_0_GE_KT_01 Elenco delle Normative di riferimento

Si riporta di seguito un estratto dei riferimenti nel campo della progettazione stradale.

Normativa vigente nazionale:

- D.Lgs. 30 aprile 1992 n.285 – Nuovo Codice della Strada.
- D.P.R. 16 dicembre 1992 n. 495 – Regolamento di esecuzione e di attuazione del nuovo codice della strada.
- D.M. 30 novembre 1999 n. 557 – Regolamento recante norme per la definizione delle caratteristiche tecniche delle piste ciclabili.
- D.M. 5 giugno 2001 – sicurezza nelle gallerie stradali.
- D.M. 5.11.2001 – Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade e s.m.i. (cogente per le strade nuove e di riferimento per l'adeguamento delle strade esistenti);
- D.Lgs. 15 gennaio 2002 n. 9 – disposizioni integrative e correttive del nuovo codice della strada, a norma dell'articolo 1, comma 1, della L. 22 marzo 2001, n. 85.
- D.L. 20 giugno 2002 n. 121 – disposizioni urgenti per garantire la sicurezza nella circolazione stradale convertito con modificazioni in legge 1 agosto 2002 n. 168.
- D.M. 10 luglio 2002 – Disciplinare tecnico relativo agli schemi segnaletici, differenziati per categoria di strada, da adottare per il segnalamento temporaneo.
- L. 1 agosto 2002 n. 168 – conversione in legge, con modificazioni, del D.L. 20 giugno 2002, n. 121, recante disposizioni urgenti per garantire la sicurezza nella circolazione stradale.
- D.L. 27 giugno 2003 n. 151 – modifiche ed integrazioni al codice della strada convertito con modificazioni da L. 1 agosto 2003 n. 214.
- L. 1 agosto 2003 n. 214 – conversione in legge, con modificazioni, del D.L. 27 giugno 2003, n. 151, recante modifiche ed integrazioni al codice della strada.
- D.M. 14 settembre 2005 Norme di illuminazione delle gallerie stradali.
- D.M. 22 aprile 2004 – Modifica del decreto 5 novembre 2001, n. 6792, recante "Norme funzionali e

geometriche per la costruzione delle strade”.

- D.M. 19.4.2006 – Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali (cogente per le intersezioni nuove e di riferimento per l’adeguamento delle intersezioni esistenti).

Normativa regionale e linee guida

- Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti, 10 settembre 2001 – “Studio a carattere prenormativo : Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali”.
- Regione Lombardia - Regolamento Regionale 24 aprile 2006, N. 7 - Norme tecniche per la costruzione delle strade
- Bozza normativa 21 Marzo 2006 -Norme per gli interventi di adeguamento delle strade esistenti
- S.Canale, S. Leonardi, F.Nicosia – AIIT Febbraio 1999 – “Le intersezioni stradali, in ambito extraurbano”

3.2. Criteri progettuali principali

3.2.1. Caratteristiche planimetriche

La normativa di riferimento richiede il rispetto delle seguenti condizioni:

- (a) *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 118 metri nel caso di strade extraurbane secondarie TIPO C

pari a 45 metri nel caso di strade extraurbane locali TIPO F

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

$$\begin{aligned} \text{per } L < 300m \quad R &\geq L \\ \text{per } L \geq 300m \quad R &\geq 400m \end{aligned}$$

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

Nel caso di passaggio da curve di raggio più grande a curve a curve di raggio più piccolo si dovrà fare riferimento all’abaco estratto dalla norma e riportato in Figura 3;

- (d) *Lunghezza massima dei rettifili:*

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

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

(e) Lunghezza minima dei rettifili.

La verifica è stata eseguita facendo riferimento alla tabella estratta dalla norma e riportata in Tabella 1; per velocità la norma intende la massima desunta dal diagramma di velocità per il rettifilo considerato.

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

Tabella 1 – Lunghezza minima dei rettifili in relazione alla velocità

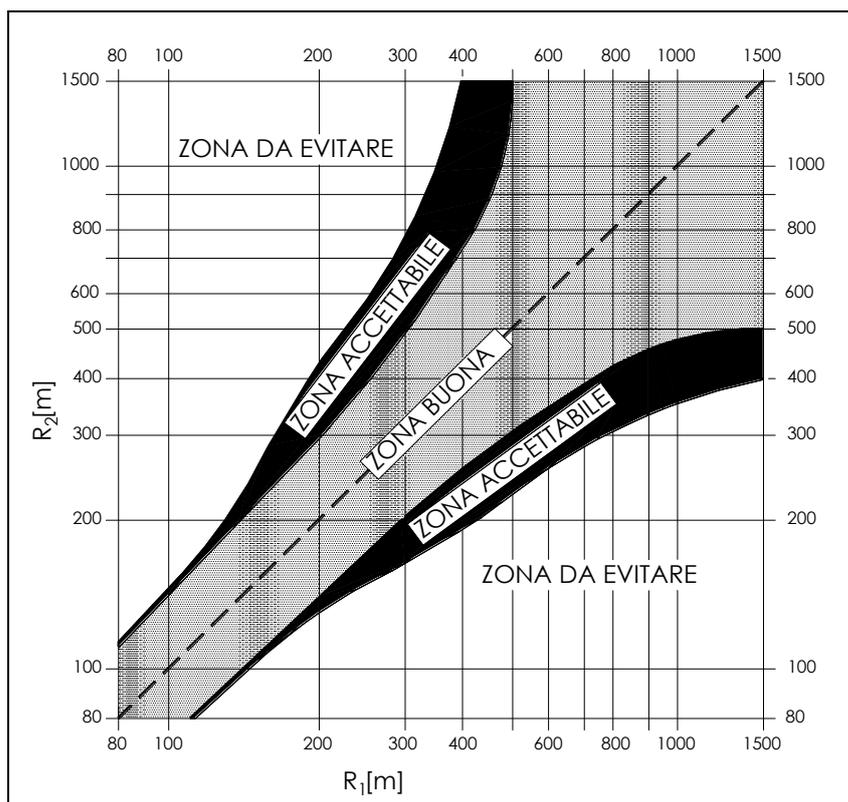


Figura 3 – Abaco di Koppel (DM 05/ 11/01)

(f) *Congruenza del diagramma delle velocità.*

La norma prevede che per $V_{p,max} \geq 100$ km/h (e quindi per strade tipo C e F) 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 (f1). 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 (f2).

La costruzione del diagramma di velocità lungo l'asse stradale è stata effettuata secondo quanto prescritto dal DM 05/11/2001 e di seguito riportato.

- La velocità è mantenuta costante lungo lo sviluppo delle curve con raggio inferiore a $R_{2,5}$;
- la velocità varia crescendo verso la velocità massima dell'intervallo di progetto lungo i rettifili, le clotoidi e gli archi con raggio non inferiore a $R_{2,5}$;
- Il valore di accelerazione e decelerazione è pari a 0,8 m/s². Tale valore è stato mantenuto invariato anche per i tratti in approccio alle intersezioni con schema a rotatoria.
- In corrispondenza delle rotatorie si è assunta una velocità di percorrenza pari a 30 km/h;
- La pendenza longitudinale non influenza la velocità di progetto.

(g) *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.

(h) *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 A_{\min} 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;
- i_{\max} (%) = sovrappendenza longitudinale massima della linea costituita dai punti che distano B_i dall'asse di rotazione; in assenza di allargamento tale linea coincide con l'estremità della carreggiata;

- $q_i = \frac{i_{ci}}{100}$ dove i_{ci} = pendenza trasversale iniziale
- $q_f = \frac{i_{cf}}{100}$ con i_{cf} = pendenza trasversale finale
- $|q_i + q_f|$ 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 R1 è il raggio minore ed R2 il raggio maggiore dei due cerchi raccordati con la clotoide di continuità.

Oltre ai criteri precedentemente descritti si è proceduto alla verifica del rapporto AE/AU delle due clotoidi in ingresso e in uscita da una curva circolare e del rapporto A1/A2 tra due clotoidi in un flesso asimmetrico, secondo quanto prescritto dal D.M. 5/11/2001:

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

3.2.2. Caratteristiche altimetriche

La normativa di riferimento richiede il rispetto delle seguenti condizioni:

(i) *Pendenze longitudinali massime*

La pendenza massima delle livellette, consentita dal DM 05/11/01 per strade di tipo C (strade extraurbane secondarie), è pari al 7%.

La pendenza massima delle livellette, consentita dal DM 05/11/01 per strade di tipo F (strade extraurbane locali), è pari al 10%.

I suddetti valori della pendenza massima possono essere aumentati di una unità qualora, da una verifica da

effettuare di volta in volta, risulti che lo sviluppo della livelletta sia tale da non penalizzare eccessivamente la circolazione, in termini di riduzione delle velocità e della qualità del deflusso.

(j) *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:

- Rv = 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
- h1 = altezza sul piano stradale dell'occhio del conducente [m]
- h2 = altezza dell'ostacolo [m]

Si pone di norma h1 = 1.10 m. In caso di visibilità per l'arresto di un veicolo di fronte ad un ostacolo fisso, si pone h2 = 0.10 m. In caso di visibilità necessaria per il cambiamento di corsia si pone h2 = 1.10 m.

(k) *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.

3.2.3. 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" (DM 05/11/2001, prot. N° 6792), lungo il tracciato stradale la distanza di visuale libera deve essere confrontata, nel caso di strade ad unica carreggiata, 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. Questo valore deve essere garantito lungo lo sviluppo del tracciato.
- **Distanza di visibilità per la manovra di sorpasso**, che è pari alla lunghezza del tratto di strada occorrente per compiere una manovra completa di sorpasso in sicurezza, quando non si possa escludere l'arrivo di un veicolo in senso opposto.

La **verifica di visibilità per l'arresto** consiste nel confrontare le distanze di visuale libera per l'arresto (determinate lungo l'intero sviluppo del tracciato sia in corsia di sorpasso che in corsia di marcia lenta adottando un'altezza dell'occhio del guidatore a 1.10 m dal piano viabile ed un'altezza dell'ostacolo fisso di 0.10 m e collocando trasversalmente i punti di vista e di mira al centro della corsia) con le distanze di visuale libera per l'arresto calcolate in funzione del diagramma di velocità del tracciato ed del suo andamento altimetrico (variazione della pendenza longitudinale)

Il valore di aderenza adottato nel calcolo delle distanze di arresto è quello proposto dal D.M. 5/11/2001 (e precisati

nello stesso testo della norma stessa, vedi anche **Tabella 2**), riferito a condizioni di strada bagnata.

VELOCITA' (km/h)	25	40	60	80	100	120	140
f_l	0.45	0.43	0.35	0.30	0.25	0.21	-

Tabella 2 – DM 6792/2001, coefficienti di aderenza impegnabile longitudinalmente

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 punto per punto (passo 10 metri) in funzione della velocità di progetto (secondo quanto specificato in precedenza) e della pendenza longitudinale con la seguente espressione:

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

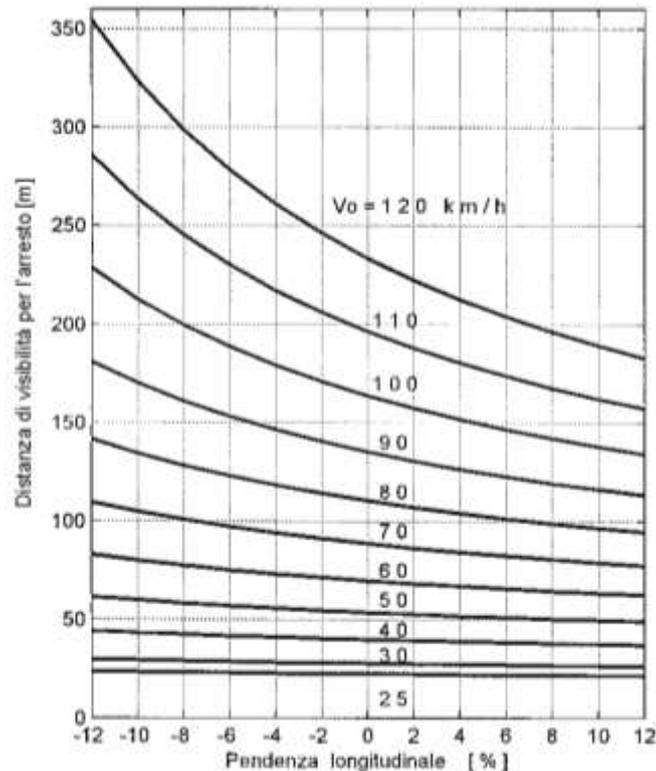
dove:

- 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:

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

Il D.M. 5/11/2001 definisce un abaco di correlazione tra la pendenza longitudinale e la distanza di arresto valido in condizione di pendenza costante. Nei tratti di variabilità di detta pendenza, ovvero in corrispondenza dei raccordi verticali, è stato assunto per essa il valore medio, così come suggerito dalla stessa normativa.



La **verifica di visibilità per il sorpasso** è stata condotta confrontando le distanze di visuale libera per il sorpasso con le corrispondenti distanze visibilità lungo tutto il tracciato.

Le distanze di visuale libera per il sorpasso sono state determinate considerando l'ostacolo mobile collocato nella corsia opposta, con altezza pari a 1,10.

Per il calcolo delle distanze di visibilità è stata utilizzata la formula riportata al paragrafo 5.1.3. del DM 05/11/2001:

$$D_s = 20 \times v = 5,5 V \quad [m]$$

dove:

- v = velocità del veicolo in [m/s], op. V in [km/h], desunta puntualmente dal diagramma delle velocità ed attribuita uguale sia per il veicolo in fase di sorpasso che per il veicolo proveniente in senso opposto.

3.2.4. **Rappresentazione dei risultati**

I risultati delle analisi sono riportati in forma tabulare nel capitolo che segue ed in forma grafica sintetica negli elaborati specifici allegati al presente progetto definitivo, nei quali sono riassunti, in funzione dello sviluppo longitudinale della strada, le seguenti informazioni:

- progressive;
- distanze ettometriche;
- andamento planimetrico;
- andamento altimetrico (profilo longitudinale);
- diagramma delle distanze di visuale libera e di visibilità per l'arresto e per il sorpasso per entrambi i sensi di marcia;
- diagramma delle velocità di progetto costruito secondo quanto prescritto dal D.M. 05/11/2001;
- rappresentazione grafica delle situazioni a norma (tratti in verde), fuori norma (tratti in rosso).



AUTOSTRADA
REGIONALE
CISPADANA

REGIONE EMILIA ROMAGNA

AUTOSTRADA REGIONALE CISPADANA
dal casello di Reggiolo-Rolo sulla A22 al casello di Ferrara Sud sulla A13

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTO DELLE VIABILITA' DI ADDUZIONE AL SISTEMA AUTOSTRADALE

D04-08 - Raccordo Bondeno-Cento-Autostrada Cispadana

ASSE STRADALE - D07 (EX 1FE - TRATTO A1) - RELAZIONE TECNICA SUL PROGETTO STRADALE

4. RISULTATI DELLE VERIFICHE DI CONGRUENZA CON LE NORMATIVE DI RIFERIMENTO

4.1. Assi stradali

Nel seguito si riportano i risultati delle analisi di congruenza del progetto stradale rispetto ai criteri indicati nella normativa di riferimento DM 05/11/2001 condotte per il solo asse principale "D" che costituisce la cosiddetta viadilità di Adduzione Bondeno-Cento tratto D.

Per gli altri assi non è stata condotta la verifica trattandosi per lo più dell'adeguamento a raso di brevi tratti di strade esistenti che si configurano come rami d'innesto alle rotatorie che sottendono tratti di raccordo per l'inserimento dell'isola divisionale.

4.1.1. Andamento planimetrico

Le modalità di tracciamento dei 2 tracciati del tratto A1 per cui sono stati utilizzati ampi raggi che non richiedendo sopraelevazione sono assimilabili a rettilinei e che pertanto non necessitano l'utilizzo dei raccordi di transizione, rende non necessaria la verifica dei parametri del tracciato planimetrico.

4.1.2. Andamento altimetrico

La pendenza longitudinale delle livellette degli assi in esame risulta sempre inferiore al valore massimo indicato dalla normativa che prescrive per strade di categoria C – strade secondarie extraurbane di non superare la pendenza del 7% e per le strade di categoria F – strade extraurbane locali di non eccedere il 10%.

Nelle tabelle a seguire vengono riportati i risultati della verifica della distanza di visibilità per l'arresto per i raccordi verticali, effettuata con riferimento alla velocità desunta dal diagramma di velocità dell'asse stradale.

In colonna (11) è indicato il valore della velocità di progetto desunta dal diagramma di velocità dell'asse stradale, nella colonna (12) è indicata la distanza d'arresto, nella colonna (13) è indicato il valore del raggio minimo che soddisfa la visibilità per l'arresto e nella colonna (14) viene indicato l'esito della verifica.

1. Asse "A1 – tratto 1" (DCS07)

ELEMENTI TRACCIATO ALTIMETRICO										VERIFICA RACCORDI ALTIMETRICI			
N	D/S	Progr.Vert	Rv	delta i (%)	Progr Inizio (m)	Progr Fine (m)	Lung. (m)	i1 (%)	i2 (%)	Vp (Km/h)	Da (m)	Rv,min (m)	Esito Verif.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
0		0.0000											
1	D	26.7436	2000.0000	0.8985	17.7590	35.7283	17.9698	0.0000	-1.1889	46.174	49,252	274,18	OK
2	S	234.4872	2000.0000	0.1903	232.5844	236.3901	3.8058	-1.1889	-0.2905	80.000	112,564	823,04	OK
3	S	470.2137	2000.0000	-0.0309	469.9046	470.5229	0.6183	-0.2905	-0.1002	61.201	73,019	481,68	OK
4	D	702.8775	2000.0000	0.1980	700.8972	704.8579	3.9607	-0.1002	-0.1311	60.0000	70,817	462,96	OK
5	S	849.2853						-0.1311	0.0669				

2. Asse "A1 – tratto 2" (DCS07)

ELEMENTI TRACCIATO ALTIMETRICO										VERIFICA RACCORDI ALTIMETRICI			
N	D/S	Progr.Vert	Rv	delta i (%)	Progr Inizio (m)	Progr Fine (m)	Lung. (m)	i1 (%)	i2 (%)	Vp (Km/h)	Da (m)	Rv,min (m)	Esito Verif.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
0		0.0000						0.0000	-0.0458				
1		361.6195	20000.0000	0.0463	356.9875	366.2514	9.2639	-0.0458	0.0005	60.0000	70,740	462,96	OK
2		728.7025	20000.0000	0.0231	726.3910	731.0141	4.6230	0.0005	0.0236	60.0000	70,712	462,96	OK
3		1066.4492	10000.0000	0.2013	1056.3847	1076.5136	20.1289	0.0236	0.2249	60.0000	70,620	462,96	OK
4		1140.1047	5000.0000	-1.0348	1114.2345	1165.9749	51.7408	0.2249	-0.8099	60.0000	70,964	462,96	OK
5		1189.8121	5000.0000	0.8386	1168.8477	1210.7765	41.9292	-0.8099	0.0287	60.0000	71,047	462,96	OK
6		1483.9089	5000.0000	0.3946	1474.0431	1493.7747	19.7317	0.0287	0.4233	60.0000	70,536	462,96	OK
7		1564.7463	5000.0000	-0.4061	1554.5943	1574.8984	20.3042	0.4233	0.0172	60.0000	75,260	462,96	OK
8		1767.1621	5000.0000	0.0290	1766.4377	1767.8864	1.4487	0.0172	0.0462	62.6492	75,807	504,75	OK
9		2006.8136	5000.0000	-0.0728	2004.9934	2008.6338	3.6404	0.0462	-0.0266	62.8545	46,052	508,06	OK
10		2110.3307	250.0000	2.0272	2107.7967	2112.8647	5.0684	-0.0266	2.0006	44.0500	43,933	261,46	OK
11		2121.4391	0.0000	-2.0006	2121.4391	2121.4391	0.0000	2.0006	0.0000	42.7327			
12		2137.2495											

4.1.3. Verifiche di visibilità

La definizione dell'asse stradale ha seguito un percorso iterativo di successivi affinamenti finalizzati all'ottimizzazione del progetto in relazione:

- Alla congruenza geometrica degli elementi componenti il tracciato, sia per quanto riguarda la loro successione, sia per gli aspetti cinematici che regolano le effettive velocità di percorrenza dell'asse;
- Alla verifica delle visuali libere, attraverso la definizione degli opportuni allargamenti in curva.

In pratica, si è proceduto prima ad uno studio per l'ottimizzazione della composizione degli elementi del tracciato in modo tale che fossero coordinati e compatibili con le velocità di progetto, successivamente si è proceduto all'analisi delle visuali libere confrontando le distanze minime da garantire lungo il tracciato in base al diagramma di velocità e all'andamento altimetrico, confrontate con quelle effettivamente disponibili e calcolate. La verifica da

esisto positivo se la distanza minima calcolata è minore di quella disponibile. Di conseguenza sono state identificate le criticità di ostacolo e quindi definiti gli opportuni allargamenti della piattaforma stradale.

Questo processo è stato sviluppato per ogni curva del tracciato, su entrambe le direttrici di marcia.

La verifica delle visuali libere è stata sviluppata mediante l'utilizzo di un applicativo Autocad che, partendo da un modello 3D della strada, comprensivo degli ostacoli fissi limitanti la visibilità è in grado di stimare le distanze di visuali disponibili, valutando di fatto gli effetti combinati dell'andamento planimetrico e dell'altimetria del tracciato ai fini della percezione che l'utente ha della strada. Il programma traccia tutti i raggi di visione a partire dall'asse della singola corsia, arrestandole in corrispondenza del primo ostacolo incontrato, sia esso il pavimentato od un ostacolo posizionato marginalmente alla carreggiata. Di seguito, in base al diagramma di velocità ed all'andamento altimetrico, il programma calcola le relative distanze minime da garantire lungo il tracciato, che saranno confrontate con quelle effettivamente disponibili e calcolate secondo il procedimento grafico esposto prima.

In termini di visibilità planimetrica la distanza di visuale libera risulta sempre compatibile con la distanza necessaria per l'arresto senza necessità di allargamenti di curve considerato anche l'andamento prevalentemente rettilineo dei due tratti in esame.

Lungo gli asse "A1" è stata anche condotta la verifica della visibilità per il sorpasso (come richiede il DM 5/11/2001), anche se a causa della presenza dei numerosi accessi ed intersezioni non può essere tenuta in considerazione.