



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

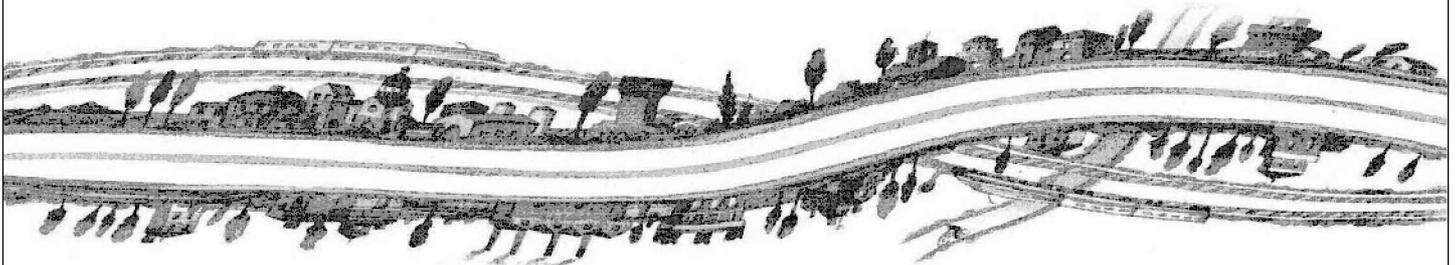
CODICE C.U.P. E81B08000060009

## PROGETTO DEFINITIVO

**VIABILITA' DI ADDUZIONE AL SISTEMA AUTOSTRADALE D04-08 (ex 1FE)  
Raccordo Bondeno-Cento-Autostrada Cispadana  
PROGETTAZIONE STRADALE**

ASSE STRADALE - D04 (EX 1FE - TRATTO B)

RELAZIONE TECNICA SUL PROGETTO STRADALE



IL PROGETTISTA

**Alpina S.p.A.**  
Dott. Ing. Marco Bonfanti  
Ordine Ingegneri di Milano  
n. A/23384

RESPONSABILE INTEGRAZIONE  
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

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



IL CONCESSIONARIO

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

*G. Pattuzzi*

G					
F					
E					
D					
C					
B					
A	17.04.2012	EMISSIONE		Ing. Magagnino	Ing. Bonfanti
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDAZIONE	CONTROLLO	APPROVAZIONE
IDENTIFICAZIONE ELABORATO					DATA: <b>MAGGIO 2012</b>
NUM. PROGR.	FASE	LOTTO	GRUPPO	CODICE OPERA WBS	TRATTO OPERA
5424	PD	0	D04	DCS04	B
					AMBITO
					SD
					TIPO ELABORATO
					RT
					PROGRESSIVO
					01
					REV.
					A
					SCALA: _



## INDICE

1.	PREMESSA.....	3
2.	DESCRIZIONE DEL PROGETTO STRADALE .....	4
2.1.	Piattaforma stradale e sezioni tipo.....	7
2.1.1.	Svincoli e rotatorie.....	9
2.1.2.	Sovrastruttura stradale.....	11
2.2.	Andamento planimetrico .....	12
2.3.	Andamento altimetrico .....	13
3.	PROGETTAZIONE ASSI STRADALI .....	16
3.1.	Inquadramento Normativo .....	16
3.2.	Criteri progettuali principali .....	17
3.2.1.	Caratteristiche planimetriche.....	17
3.2.2.	Caratteristiche altimetriche.....	21
3.2.3.	Analisi di visibilità .....	23
3.2.4.	Rappresentazione dei risultati .....	25
3.3.	Progettazione delle intersezioni a rotatoria.....	26
3.3.1.	Dimensionamento degli elementi modulari.....	26
3.3.2.	Geometria della rotatoria e analisi di visibilità .....	27
3.3.3.	Determinazione delle aree di visibilità .....	28
3.3.4.	Determinazione del livello di servizio .....	29
4.	RISULTATI DELLE VERIFICHE DI CONGRUENZA CON LE NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....	34
4.1.	Assi stradali .....	34
4.1.1.	Andamento planimetrico .....	34
4.1.2.	Andamento altimetrico .....	36
4.1.3.	Verifiche di visibilità.....	36
4.2.	Intersezioni a raso a T .....	37
4.2.1.	Analisi delle caratteristiche geometriche delle intersezioni a T .....	37

4.2.2. Facilità di lettura delle intersezioni .....	37
4.2.3. Analisi della visibilità delle intersezioni a raso .....	38
4.3. Intersezioni a rotatoria .....	39
4.3.1. Verifica delle caratteristiche geometriche per le rotatorie.....	39
4.3.2. Analisi della Deflessione .....	40
4.3.3. Analisi delle Visibilità .....	41
4.3.4. Analisi del livello di servizio .....	42

## 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) - Riquilificazione 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 (Riquilificazione 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 **D04** corrispondente al tratto B che va dalla rotatoria dell'autostazione di Cento all'intersezione con via degli Orologi.

## 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 migliorare il collegamento fra il Comune di Finale Emilia e l'autostazione di Cento.

Il nuovo itinerario presenta giacitura prevalente sud-nord e i capisaldi risultano individuati dalle rotatorie dell'autostazione di Cento e dalla rotatoria DCS04-B in corrispondenza dell'intersezione con via degli Orologi.

All'interno del tracciato di lunghezza 1,6 Km, vengono realizzate una rotatoria in corrispondenza delle intersezioni con la via Orologi ed una intersezione a raso con corsie di accumulo per le svolte a sinistra in corrispondenza di via Chiesa.

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

Asse B (DCS04) (tratto B dalla rotatoria dell'autostazione di Cento alla rotatoria DCS04-B):

Esso presenta giacitura prevalentemente sud-nord e si sviluppa per un'estesa complessiva pari a Km 1+639,28. Esso è finalizzato alla realizzazione del collegamento fra l'autostazione di Cento ed il Comune di Finale Emilia.

Il tracciato si colloca interamente in rilevato a quote variabili da 0,50 m a 2,00 m sul piano campagna, insiste su terreno ad uso agricolo ed in alcuni tratti sulla viabilità esistente che viene risezionata ed allargata. Lungo il suo sviluppo presenta un tombino idraulico in corrispondenza dello Scolo Salione Nuovo.

L'asse di progetto (denominato asse "B") ha, quindi, origine in corrispondenza della suddetta rotatoria dell'autostazione di Cento e 60,00 m, e prosegue nella direzione della viabilità esistente Via Finalese con una curva verso destra di raggio 190 opportunamente raccordata con le curve di transizione (clotoidi).

All'altezza della prog. Km 0+220 il tracciato si sovrappone alla viabilità esistente che dovrà essere allargata ed adeguata alla sezione stradale del nuovo tratto.

Il tratto di risezionamento termina alla progressiva Km 0+400 dove il tracciato rimane spostato più a est rispetto alla viabilità esistente e prosegue su terreno agricolo con una paio di flessi prima verso destra e poi verso sinistra per rientrare sulla viabilità esistente.

Dalla prog. Km 1+170 alla prog. Km 1+560 si ha infatti un altro tratto di risezionamento della viabilità esistente dopo il quale il tracciato rimane ancora spostato verso est per immettersi nella rotatoria alla fine del tratto oggetto dell'intervento all'intersezione con via degli Orologi.

Nel primo tratto fino al termine del tratto interessato dall'intersezione a raso con via Chiesa è stata posta la limitazione alla velocità di progetto a 60 Km/h per la contemporanea presenza di alcune abitazioni poste su entrambi i lati della strada e per la presenza dell'intersezione a raso.

In questo tratto sono inoltre presenti dei filari di alberi su entrambi i lati della strada esistente che dovranno essere

parzialmente abbattuti.

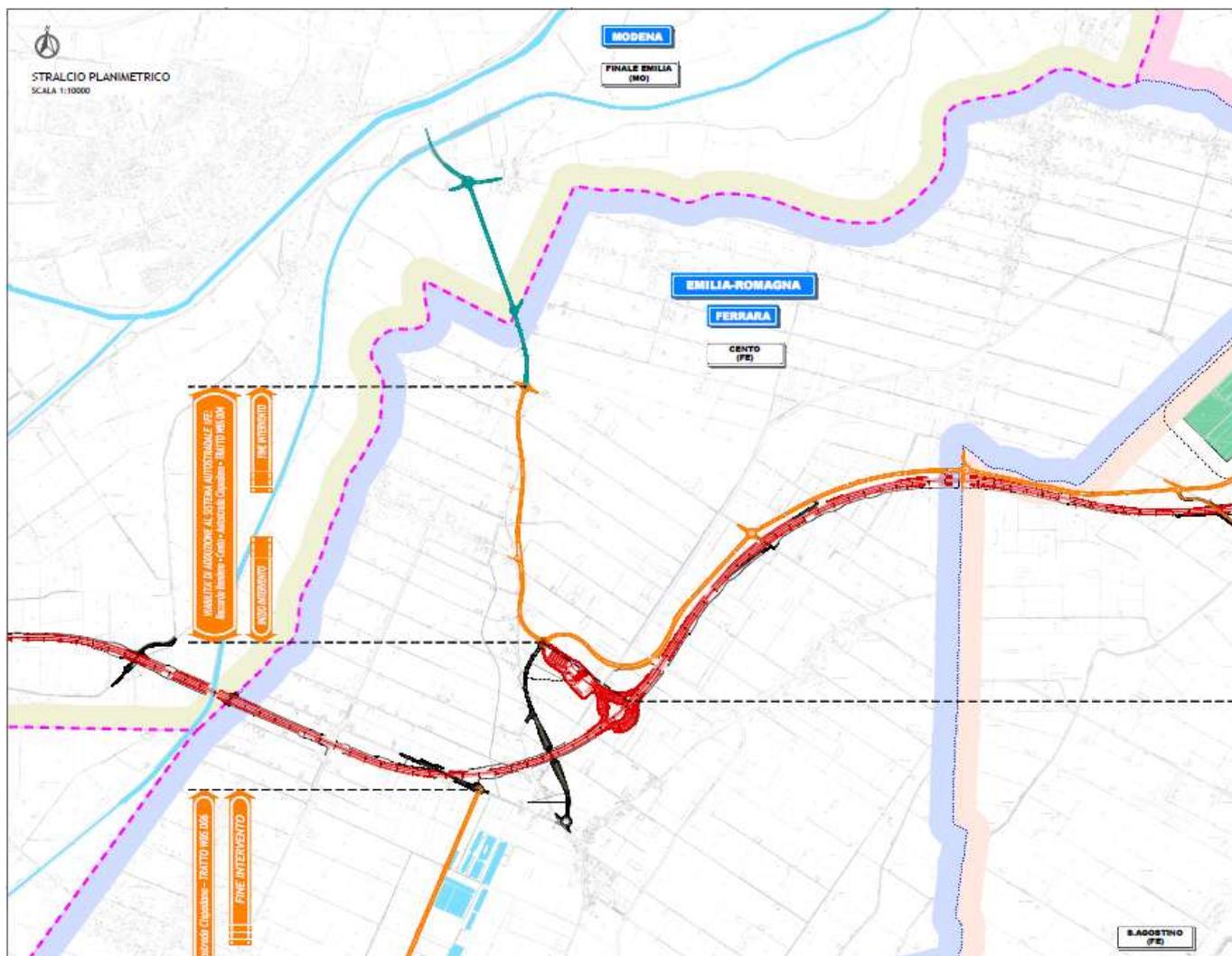


Figura 2-1 –Inquadramento territoriale Opera D04

Nel primo tratto fino al termine del tratto interessato dall'intersezione a raso con via Chiesa è stata posta la limitazione alla velocità di progetto a 60 Km/h per la contemporanea presenza di alcune abitazioni poste su entrambi i lati della strada e per la presenza dell'intersezione a raso.

In questo tratto sono inoltre presenti dei filari di alberi su entrambi i lati della strada esistente che dovranno essere parzialmente abbattuti.

Di seguito si riporta una breve descrizione delle intersezioni in progetto con la viabilità secondaria.

Intersezione a raso "T1"

L'intersezione canalizzata "T1", è un'intersezione a raso a 3 rami con corsia centrale di accumulo e di immissione e

corsia di uscita, si trova alla progressiva km. 0+573,05 della nuova viabilità in progetto ed insiste su Via Chiesa.

L'asse DCS04-A costituisce il ramo della strada esistente di Via Chiesa che viene adeguato per innestarsi sul nuovo tracciato della Cispadana D04.

#### Intersezione a rotatoria "RB"

L'intersezione del tipo a rotatoria "RB", prevista al km 1+639,28 della nuova viabilità in progetto, insiste su Via degli Orologi e su via Monco in comune di Cento; tale rotatoria sostituisce l'attuale intersezione a 4 rami fra via Finalese e le 2 via prima citate.

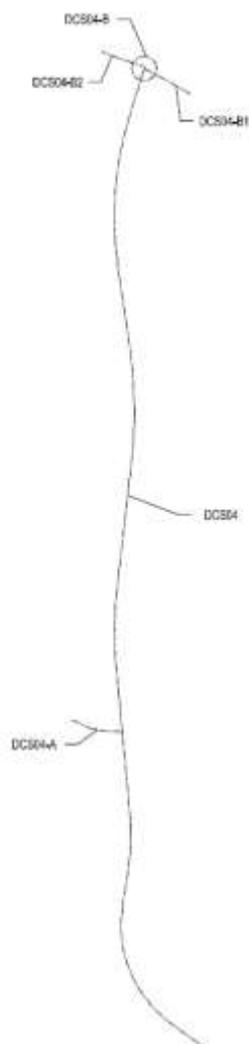


Figura 2-2 –Schema assi di tracciamento

## 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 "B", mentre, per i restanti assi secondari, trattandosi di collegamenti di raccordo alle rotonde con le viabilità comunali esistenti, sono state adottate delle piattaforme di categoria tipo F locali.

### Strade tipo C2:

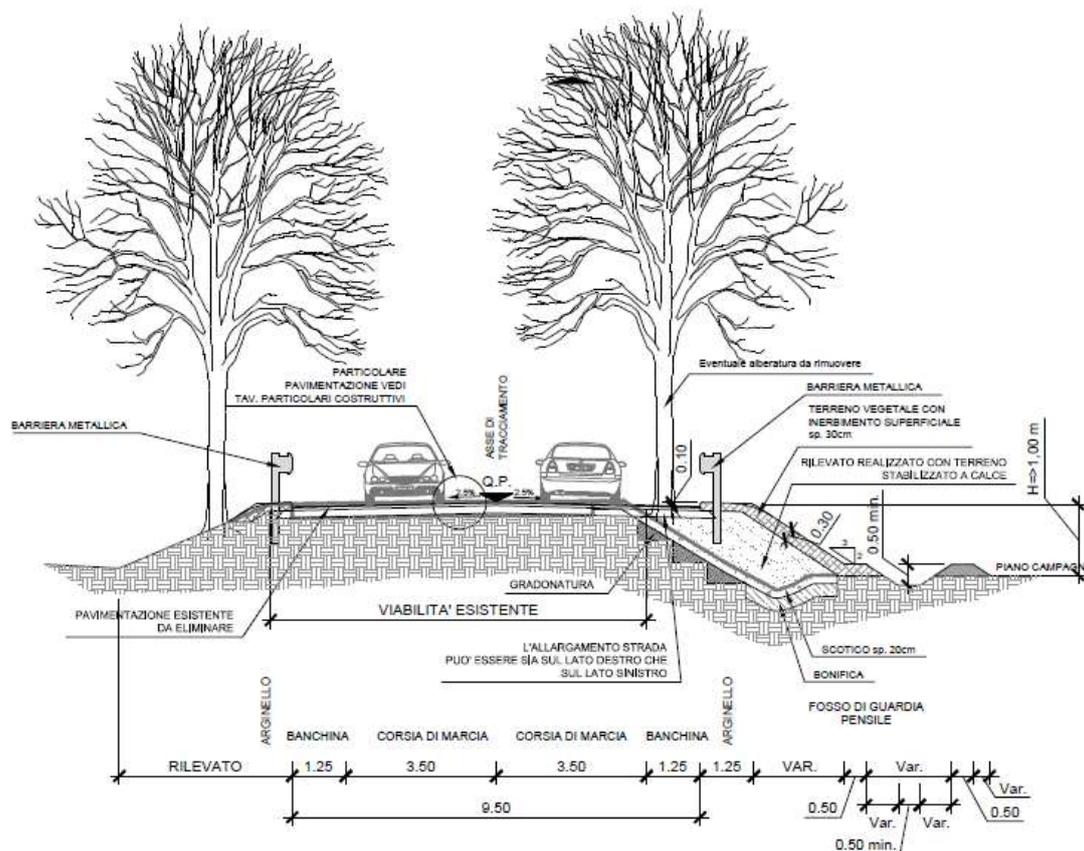
La piattaforma risulta costituita da due corsie di marcia oltre a banchina per una larghezza totale esclusi gli elementi marginali pari a 9,50 m. La pendenza trasversale corrente è pari al 2,50% verso l'esterno per ciascuna corsia (**figura 2.1 e 2.2**).



**Figura 2. 1 Esempio di sezione tipo C2 in rettilineo**

**SEZIONE DI RISEZIONAMENTO DI STRADA ESISTENTE LATO DESTRO \***

Scala 1:100



**Figura 2. 2 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).

Il valore della piattaforma ed in particolare quello della banchina sopra indicati rappresentano la larghezza corrente della carreggiata; in alcuni punti del tracciato, a causa della composizione plano-altimetrica e della velocità di progetto, si è reso necessario operare allargamenti della sede stradale o degli elementi marginali al fine di garantire le visuali libere per l'arresto.

Tali allargamenti sono indicati nelle sezioni trasversali e opportunamente analizzati negli specifici elaborati relativi alle verifiche di tracciato.

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. 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.

**2.1.1. Svincoli e rotatorie**

L'intervento in oggetto prevede la realizzazione di una intersezione a "T" ed una rotatoria a raso. La prima (DCS08-A) è ubicata in corrispondenza dell'intersezione con la via Chiesa, la seconda (DCS08-B) in corrispondenza della via degli Orologi.

L'intersezione a raso è del tipo a tre rami con isole triangolari e a goccia sull'innesto di via Chiesa, corsie centrali di accumulo e corsia centrale di immissione per favorire le svolte a sinistra e corsia di uscita verso via Chiesa.

L'intersezione è stata dimensionata in base ai volumi di traffico con proiezione 2030 ed in base alle tipologie di strade interessate C e F.

In particolare le corsie centrali di accumulo ed immissione hanno una larghezza di 3,25 m

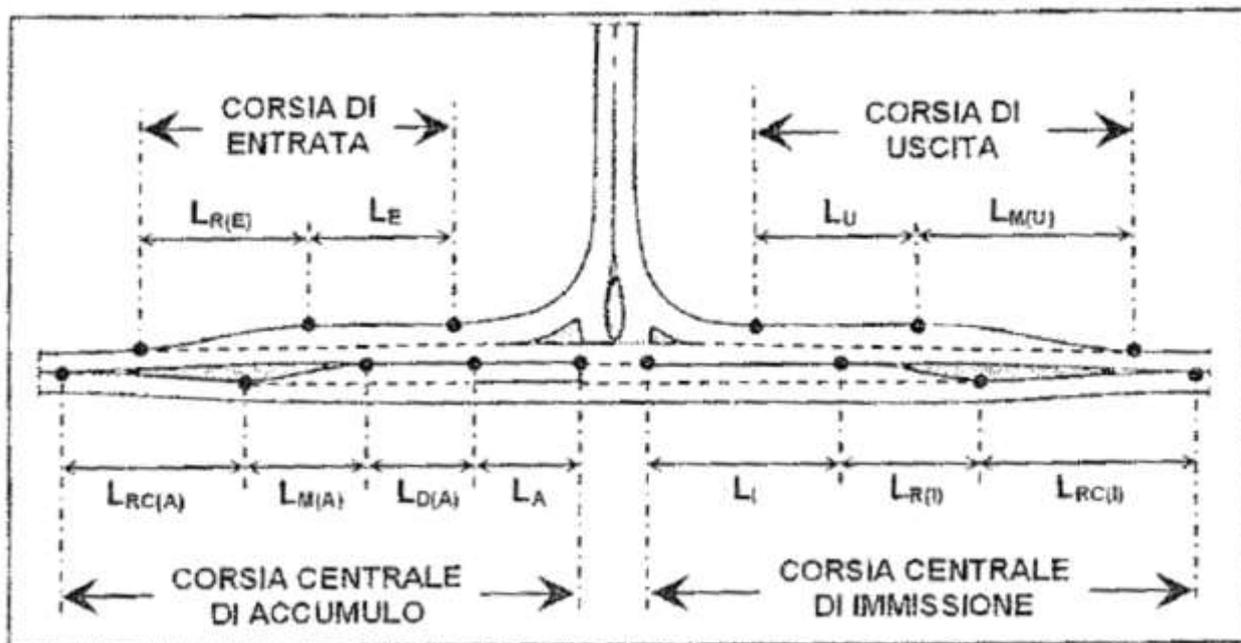


Figura 2. 3 Schema intersezione a raso a 3 rami

di traffico previsti e seguendo i criteri per le strade extraurbane.

In particolare la corsia di centrale di accumulo è caratterizzata dai seguenti valori:

LRCA (lunghezza di raccordo) = 65 m

LMA (lunghezza di manovra) = 30 m

LDA (lunghezza tratto di decelerazione) = 37,2 m

LA (lunghezza tratto di accumulo) = 10

La corsia di centrale di immissione è caratterizzata dai seguenti valori:

LI (tratto di attesa) = 50 m

LRI (tratto di raccordo) = 30 m

LRCI (secondo tratto di raccordo) = 65 m

La corsia di uscita è caratterizzata dai seguenti valori:

LU (tratto di uscita) = 40 m

LMU (tratto di manovra) = 30 m

La rotatoria è caratterizzata da raggio interno pari a 15,50 metri (Rest= 23,50 m), con piattaforma pavimentata avente larghezza pari a 9,00 m costituita da una corsia giratoria di 6,00 m affiancata da banchine in destra e sinistra pari a 1,00 metro. La pendenza trasversale corrente è pari al 2,00% verso l'esterno.

L'isola centrale sarà delimitata da cordoli in cls a sezione trapezia. La sistemazione a verde della stessa avverrà con terreno di riporto proveniente dagli scavi ed arredata per mezzo specie arboree ed arbustive per la cui definizione si rimanda agli elaborati specifici.

Lungo il perimetro esterno sono previsti elementi marginali analoghi a quelli adottati per il tracciato principale: costituiti da un arginello inerbito di larghezza pari a 1,30 metri. Le scarpate saranno realizzate con pendenza al 2/3 e rivestite da uno strato di terreno vegetale dello spessore di 30 cm (**figura 2.4**).

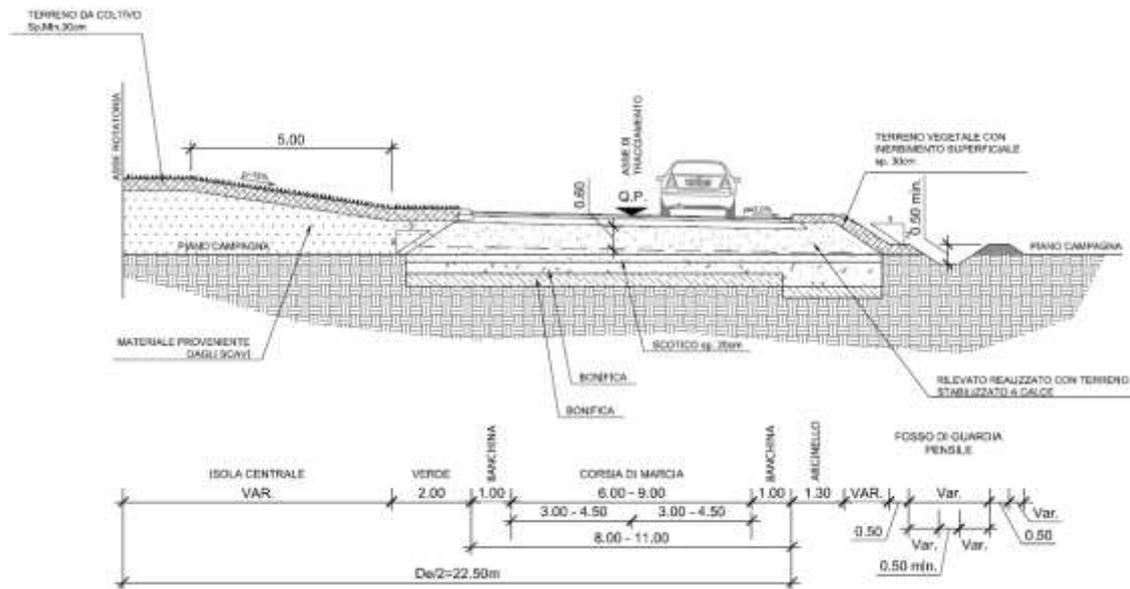


Figura 2.4 Esempio di sezione tipo in rotonda

Per i rami di ingresso ed uscita delle rotonde, la piattaforma pavimentata risulta avere una larghezza pari rispettivamente a 5,00 m e 6,00 m così composta:

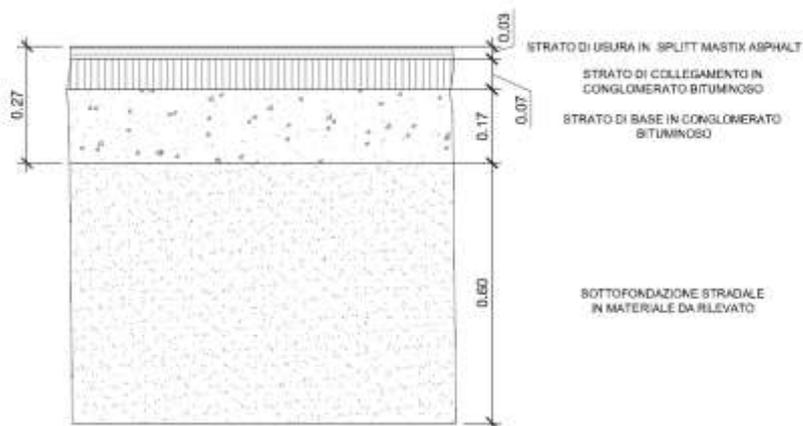
- Corsia in entrata L= 3,50 m;
- Corsia in uscita L= 4,50 m;
- Banchina in Sx L= 0,50 m;
- Banchina in Dx L= 1,00 m.

Gli elementi marginali rispettano quanto previsto per il rilevato della viabilità principale.

### 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 2.5** Composizione della sovrastruttura stradale

Per le intersezioni a rotatoria la sovrastruttura stradale prevede lo stesso spessore e composizione degli strati previsti sull'asse principale.

## 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 "B" (DCS04)

Elem.	Progr Inizio (m)	Progr Fine (m)	Lunghezza (m)	Tipo Elem.	Parametro	Vs	Ic (%)	Vp (Km/h)
1	0.000	41.630	41.630	R			-0.377	33
2	41.630	117.419	75.789	AT	120.000	Dx	0.000	52
3	117.419	269.163	151.744	C	190.000	Dx	-7.000	72
4	269.163	318.657	49.494	AF	96.974	Dx	0.000	60
5	318.657	366.636	47.979	AF	138.534	Sx	0.000	60
6	366.636	423.597	56.961	C	400.000	Sx	-7.000	97
7	423.597	468.489	44.892	AT	134.003	Sx	0.000	60
8	468.489	659.880	191.391	R			-2.500	60
9	659.880	715.658	55.778	AT	167.000	Dx	0.000	60
10	715.658	762.729	47.071	C	500.000	Dx	-6.426	100
11	762.729	818.507	55.778	AT	167.000	Dx	0.000	76
12	818.507	968.084	149.577	R			-2.500	94
13	968.084	1.046.307	78.223	AT	234.000	Sx	0.000	100
14	1.046.307	1.139.596	93.289	C	700.000	Sx	-5.182	100
15	1.139.596	1.248.817	109.221	AF	276.504	Sx	0.000	100
16	1.248.817	1.401.726	152.909	AF	276.504	Dx	0.000	92
17	1.401.726	1.514.651	112.925	C	500.000	Dx	-6.426	100
18	1.514.651	1.586.835	72.184	AT	189.979	Dx	0.000	55
19	1.586.835	1.639.283	52.449	R			-0.592	39

## 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  $\Delta i$ , 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 "B" (DCS04)

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		0,00							
1	D	22,59	0,00	-2,00	22,59	22,59	0,00	0,00	-2,00
2	S	38,95	300,00	2,20	35,66	42,25	6,59	-2,00	0,20
3	D	356,15	10000,00	-0,34	339,01	373,29	34,28	0,20	-0,15
4	S	681,72	5000,00	1,79	636,88	726,56	89,68	-0,15	1,65
5	D	785,87	3000,00	-3,32	736,10	835,65	99,55	1,65	-1,67
6	S	880,67	5000,00	1,68	838,62	922,72	84,11	-1,67	0,01
7	S	1561,10	2000,00	1,99	1541,20	1581,00	39,80	0,01	2,00
8	D	1623,79	0,00	-2,00	1623,79	1623,79	0,00	2,00	0,00
9		1639,28						0,00	



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 - D04 (EX 1FE - TRATTO B) - RELAZIONE TECNICA SUL PROGETTO STRADALE**

---

### 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 6;

- (d) *Lunghezza massima dei rettifili:*

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

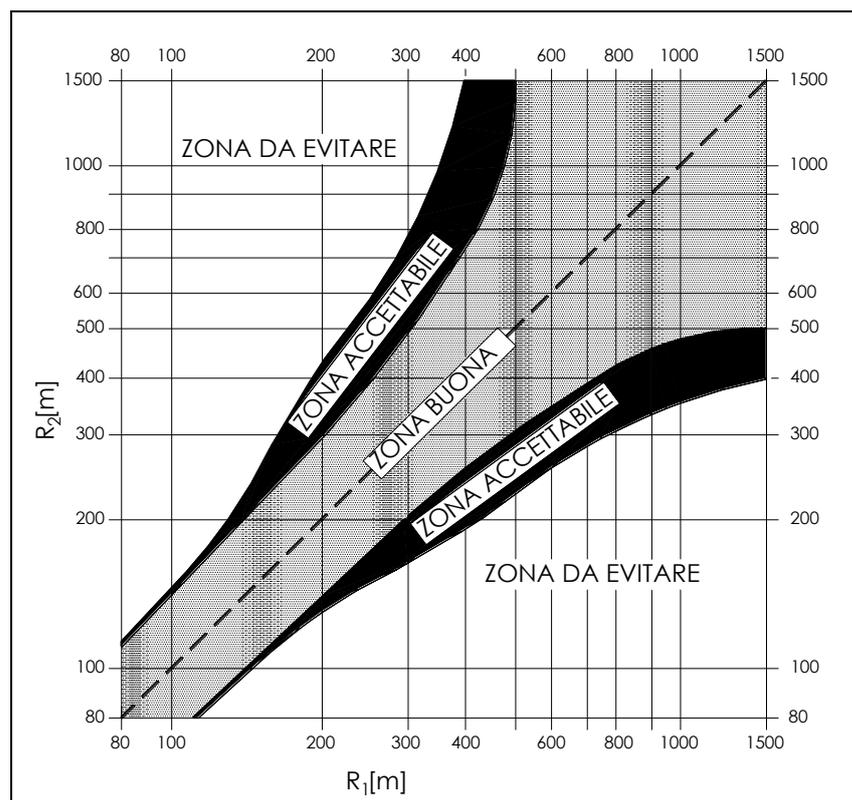
dove V è la velocità massima dell'intervallo delle velocità dei progetto, espressa in km/h ed L si ottiene in metri.

(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 6 – 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/s<sup>2</sup>. 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:

- $R_v$  = 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]
- $\Delta i$  = 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.

(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].
- $\Delta i$  = variazione di pendenza delle due livellette espressa in percento
- $h$  = altezza del centro dei fari del veicolo sul piano stradale
- $\vartheta$  = 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:

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

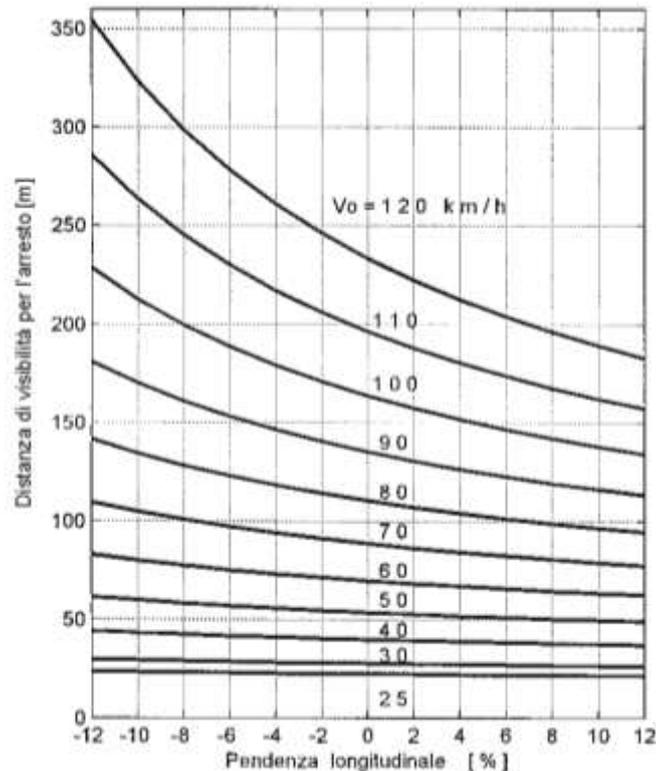
dove:

- $D_1$  = spazio percorso nel tempo  $\tau$
- $D_2$  = 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 [%]
- $\tau$  = tempo complessivo di reazione (percezione, riflessione, reazione e attuazione) [s]
- $g$  = accelerazione di gravità [m/s<sup>2</sup>]
- $Ra$  = 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.

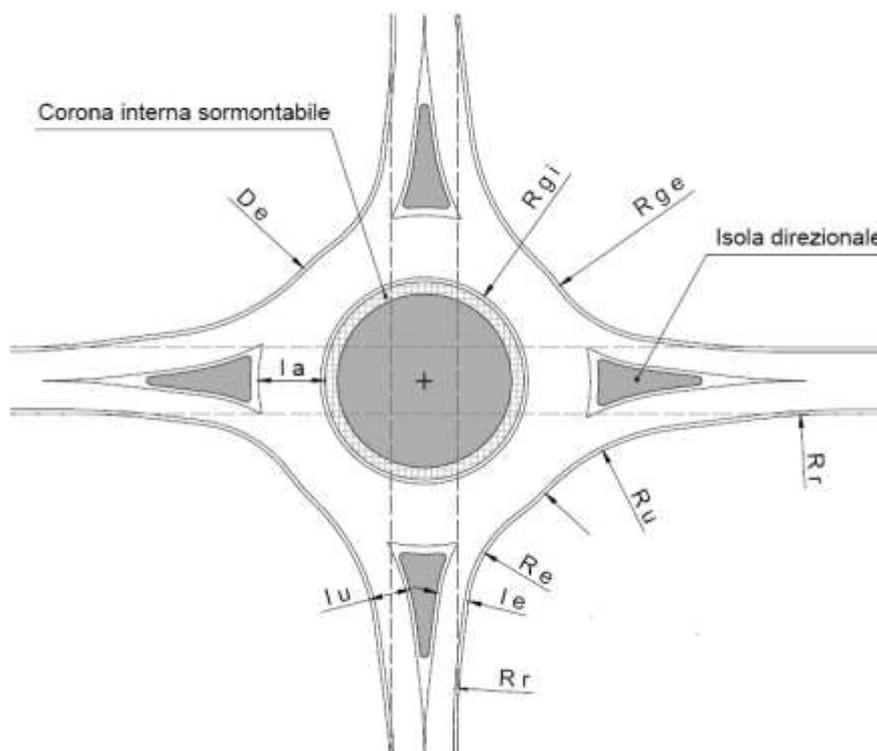
### 3.2.4. **Rappresentazione dei risultati**

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).

### 3.3. Progettazione delle intersezioni a rotatoria

#### 3.3.1. Dimensionamento degli elementi modulari



Elementi di progetto delle rotatorie

In tabella si riportano le larghezze degli elementi modulari utilizzati nel dimensionamento delle rotatorie

Parametro	Annotazione	Valori adottati diametro 40m	Valori adottati diametro 45.5 m	Valori adottati diametro 47m
Raggio esterno	Rg	20.00 m	22.75 m	23.50 m
Larghezza totale anello	La	8.00 m	8.00 m	8.00
Banchina int/est anello	Lb1	1.00 m	1.00 m	1.00 m
Raggio interno	Ri	12.00 m	14.75 m	15.5 m
Raggio entrata	Re	10.00-25.00 m	10.00-25.00 m	10.00-25.00 m
Larghezza corsia di entrata	Le	3.50 m	3.50 m	3.50 m
Raggio uscita	Rs	15.00-30.00 m	15.00-30.00 m	15.00-30.00 m
Larghezza corsia di uscita	Ls	4.50 m	4.50 m	4.50 m
Banchina esterna rami di ingresso ed uscita	Lb2	1.00 m	1.00 m	1.00 m
Banchina interna rami di ingresso ed uscita	Lb3	0.50 m	0.50 m	0.50 m
Larghezza isola spartitraffico	SEP	>3.5	>3.5	>3.5

La norma non fornisce chiare indicazioni relativamente alle dimensioni delle banchine da prevedere nella corona rotatoria. Per quanto riguarda la banchine esterna ed interna è stata assunta una larghezza pari a 1,00.

Per garantire una buona efficacia dello scolo delle acque meteoriche sulle rotatorie di progetto si è adottata una pendenza della carreggiata anulare rivolta verso l'esterno con pendenza 2%.

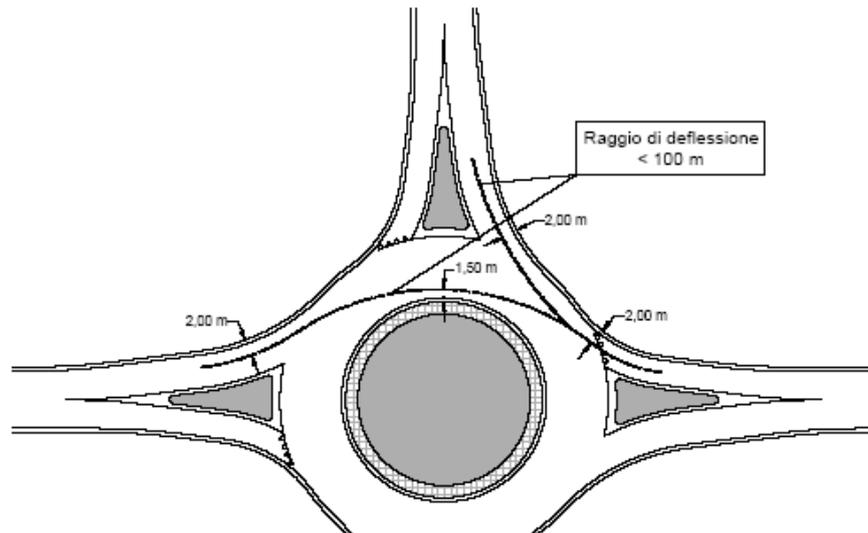
### **3.3.2. Geometria della rotatoria e analisi di visibilità**

La regola principale per il disegno progettuale delle rotatorie riguarda il controllo della deflessione delle traiettorie in attraversamento del nodo, ed in particolare le traiettorie che interessano due rami opposti o adiacenti rispetto all'isola centrale.

Lo scopo primario delle rotatorie è un assoluto controllo delle velocità all'interno dell'incrocio ed è essenziale che la geometria complessiva impedisca valori cinematici superiori ai limiti usualmente assunti a base di progetto.

Per la verifica della deflessione si è fatto riferimento alla normativa della Regione Lombardia la cui verifica è compatibile con la verifica dell'angolo beta (DM 2006); il riferimento in particolare al Regolamento Regionale (regione lombardia) 24 aprile 2006, N. 7 (Par. 3.A.6)

La normativa di riferimento definisce deflessione di una traiettoria il raggio dell'arco di circonferenza passante a 1,5 m dal bordo dell'isola centrale e a 2 m dal bordo delle corsie d'entrata e d'uscita, siano esse adiacenti o opposte (si veda la figura sotto riportata). Occorre verificare l'ampiezza del raggio di deflessione per le manovre relative ad ogni braccio di ingresso e uscita. Tale raggio deve essere inferiore a 100 metri: in tal modo la velocità in rotatoria non potrà mai essere superiore ai 50 Km/h.



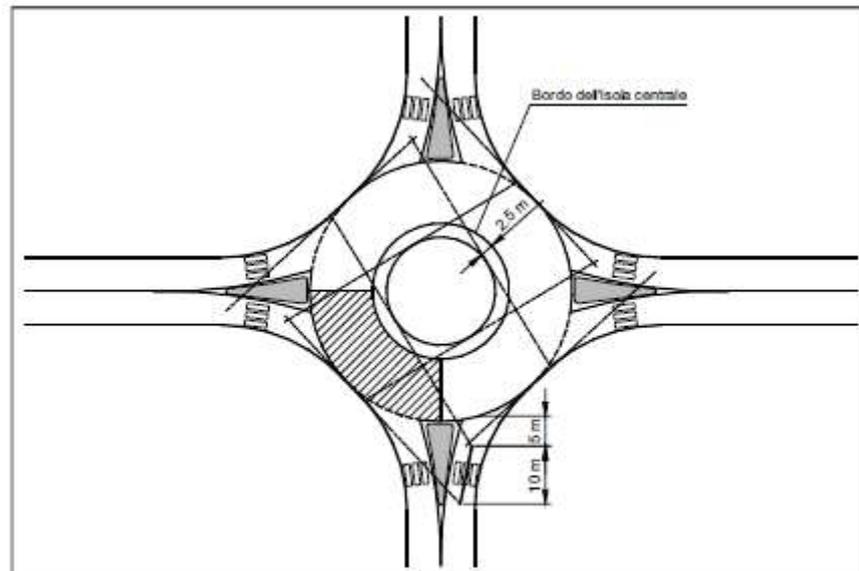
Costruzione della verifica di deflessione da garantire nelle rotonde

### 3.3.3. Determinazione delle aree di visibilità

Gli utenti che si avvicinano ad una rotonda devono percepire i veicoli con precedenza all'interno della corona in tempo per modificare la propria velocità per cedere il passaggio o eventualmente fermarsi. In particolare, onde garantire un'adeguata visibilità, si devono adottare le seguenti prescrizioni:

- il punto di osservazione si pone ad una distanza di 15 m dalla linea di arresto coincidente con il bordo della circonferenza esterna;
- la posizione planimetrica si pone sulla mezziera della corsia di entrata in rotonda (o delle corsie di entrata) e l'altezza di osservazione si colloca ad 1 m sul piano viabile;
- la zona di cui è necessaria la visibilità completa corrisponde al quarto di corona giratoria posta alla sinistra del canale di accesso considerato.

La modalità di costruzione delle aree di visibilità è rappresentata nella figura seguente.



**Figura 12:** Campi di visibilità in incrocio a rotatoria

Costruzione dell'area di visibilità da garantire nelle rotatorie

### 3.3.4. Determinazione del livello di servizio

#### Calcolo della capacità delle rotatorie

Il calcolo della capacità di una rotatoria in ambito extraurbano, a titolo indicativo, può essere effettuato attraverso la metodologia francese proposta dal SETRA. Tale metodo ha il pregio di fornire, oltre al valore della capacità, anche altri elementi utili per la conoscenza del livello di servizio di una rotatoria.

La capacità, espressa dalla formula seguente, è funzione decrescente del traffico di disturbo  $Q_d$  che ne ostacola l'ingresso, mentre aumenta in funzione della larghezza della corsia di entrata ENT:

$$Q_e = (1130 - 0.7Q_d)[1 + 0.1(ENT - 3.5)]$$

dove:

$Q_e$  = capacità di un braccio di ingresso [veic/h]

ENT = larghezza della corsia in entrata misurata dietro il primo veicolo fermo all'altezza della linea del "dare precedenza" [m]

$Q_d$  = traffico di disturbo [veic/h]:

$$Q_d = (Q_c + 2/3Q_u')[1 - 0.085(ANN - 8)]$$

$Q_c$  = traffico circolante, ovvero flusso che percorre l'anello all'altezza della immissione

[veic/h]

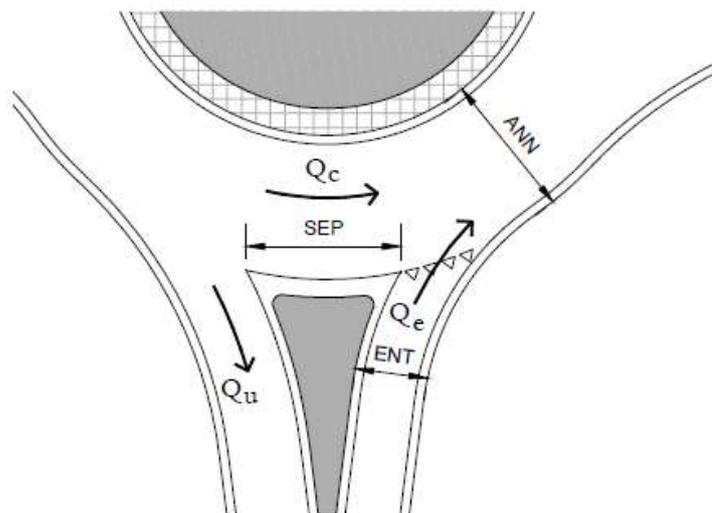
$ANN$  = larghezza dell'anello [m]

$Q'_u$  = traffico uscente equivalente [veic/h]:

$$Q'_u = Q_u(15-SEP)/15$$

$Q_u$  = traffico uscente [veic/h]

$SEP$  = larghezza dell'isola spartitraffico all'estremità del braccio [m]



**Caratteristiche geometriche e di traffico di una rotatoria**

In ambito urbano, invece, una metodologia che si può seguire è quella proposta dal CETUR. In questo caso la capacità si esprime con la formula:

$$Q_e = \gamma (1500 - 0.83Q_d) \text{ [veic/h]}$$

dove:

$Q_e$  = capacità di un braccio di ingresso [veic/h]

$\gamma = 1$  nel caso di una corsia in ingresso

$\gamma = 1,5$  per due o più corsie all'ingresso

$Q_d$  = traffico di disturbo [veic/h]:

$$Q_d = \alpha Q_c + 0.2 Q_u$$

$\alpha = 1$  qualora si sia in presenza di una rotatoria con  $ANN < 8$  m

$\alpha = 0.7$  per  $ANN \geq 8$  m e  $R \geq 20$  m

$\alpha = 0.9$  per  $ANN \geq 8$  m e  $R < 20$  m

ANN = larghezza dell'anello [m]

R = raggio esterno della rotatoria ( $De/2$ ) [m]

Le verifiche di capacità, attraverso usuali modelli di calcolo, sono sempre consigliate per ottenere un corretto dimensionamento degli elementi compositivi l'intersezioni. Sono necessarie in tutti i casi in cui il flusso totale entrante sia complessivamente maggiore di 2000 veic./ora (traffico dell'ora di punta) e comunque nel caso in cui:

- almeno una delle arterie afferenti abbia una connotazione non locale;
- la rotatoria sia necessaria al fine di garantire l'accessibilità a nuovi contesti
- residenziali/commerciali/produttivi che vadano a modificare le condizioni di deflusso attuali
- a generare nuovo traffico indotto;
- l'isola centrale abbia una forma non circolare;
- si vogliano inserire due corsie in uscita;
- si voglia inserire una corsia per la svolta a destra svincolata.

### **Calcolo del livello di servizio delle rotatorie**

Le caratteristiche di livello di servizio a cui si fa riferimento nel progetto delle rotatorie sono quelle stesse che vengono considerate nello studio di una qualsiasi intersezione a raso: il tempo medio di attesa dei veicoli alle immissioni ed un adeguato percentile della lunghezza della coda. Questi elementi possono essere calcolati con lo stesso modello teorico utilizzato per le altre intersezioni a raso, basato sul concetto di intervallo critico precedentemente definito, le cui variabili sono il flusso in entrata e quello che percorre l'anello.

La valutazione del livello di servizio per ogni singolo ramo avviene secondo il metodo dell'Highway Capacity Manual (2000). Il livello di servizio è una misura della qualità della circolazione e viene contraddistinto con lettere che vanno da A, indice di circolazione libera, a F, indice di congestione.

Secondo il D.M. 19/04/2006 "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". Il progettista deve quindi confrontare il livello di servizio più basso, ottenuto sul ramo critico, con il livello di servizio ammissibile dal D.M. 05/11/2001.

La metodica dell'HCM parte dalla determinazione del grado di saturazione di ciascun ramo (x); in seguito viene calcolato il ritardo medio veicolare (o tempo medio di attesa,  $t_m$ ), la lunghezza media della coda ( $L_m$ ), la lunghezza massima della coda ( $L_{max}$ ), ovvero il 95° percentile della distribuzione delle lunghezze delle code.

La lunghezza media e la lunghezza massima delle code espresse in metri si ricavano, come previsto dalla norma italiana, moltiplicando per 6 m i valori di  $L_m$  e  $L_{max}$  espresse in numero di veicoli.

Come stabilito dall'HCM il livello di servizio viene associato al tempo medio di attesa secondo la seguente tabella:

<b>Livello di servizio</b>	<b>Tempo d'attesa medio</b>
A	< 10 s
B	10 - 15 s
C	15 - 25 s
D	25 -35 s
E	35 – 50 s
F	> 50 s



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 - D04 (EX 1FE - TRATTO B) - 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 viabilità 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

Nelle tabelle a seguire vengono sintetizzati i risultati della verifica delle caratteristiche degli elementi planimetrici che compongono gli assi stradali condotte per il solo asse 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, in colonna (9) è riportato per ogni elemento il valore massimo della velocità di progetto dedotto dal diagramma delle velocità mentre, nella colonna (10) vengono riportati gli esiti della verifica.

**1. Asse "B" (DCS04)**

ELEMENTI TRACCIATO PLANIMETRICO									VERIFICA CLOTOIDI						
Elem.	Progr Inizio (m)	Progr Fine (m)	Lung. (m)	Tipo Elem.	Param.	Vs	Ic (%)	Vp (Km/h)	Parametri min/max				Rapporti		Esito Verif.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	A1	A2	A3min	A3max	A/Au	A1/A2	(10)
1	0.000	41.630	41.630	R			-0.377	33							
2	41.630	117.419	75.789	AT	120.000	Dx	0.000	52	20,9	72	63,3	190	1,24		OK
3	117.419	269.163	151.744	C	190.000	Dx	-7.000	72							
4	269.163	318.657	49.494	AF	96.974	Dx	0.000	60	54,1	66,6	63,3	190		0,7	OK
5	318.657	366.636	47.979	AF	138.534	Sx	0.000	60	7,8	96,6	133,3	400		1,03	OK
6	366.636	423.597	56.961	C	400.000	Sx	-7.000	97							
7	423.597	468.489	44.892	AT	134.003	Sx	0.000	60	44,8	112,5	133,3	400	1,03		OK
8	468.489	659.880	191.391	R			-2.500	60							
9	659.880	715.658	55.778	AT	167.000	Dx	0.000	60	61,3	122	166,7	500	1		OK
10	715.658	762.729	47.071	C	500.000	Dx	-6.426	100							
11	762.729	818.507	55.778	AT	167.000	Dx	0.000	76	11,9	137	166,7	500	1		OK
12	818.507	968.084	149.577	R			-2.500	94							
13	968.084	1.046.307	78.223	AT	234.000	Sx	0.000	100	116	172,8	233,3	700	0,85		
14	1.046.307	1.139.596	93.289	C	700.000	Sx	-5.182	100							
15	1.139.596	1.248.817	109.221	AF	276.504	Sx	0.000	100	151,4	142	233,3	700	0,85	1	OK
16	1.248.817	1.401.726	152.909	AF	276.504	Dx	0.000	92	126,5	128,3	166,7	500	1,46	1	OK
17	1.401.726	1.514.651	112.925	C	500.000	Dx	-6.426	100							
18	1.514.651	1.586.835	72.184	AT	189.979	Dx	0.000	55	190	116,5	166,7	500	1,46		OK
19	1.586.835	1.639.283	52.449	R			-0.592	39							

ELEMENTI TRACCIATO									VERIFICA RETTIFI E CURVE							
Elem.	Progr Inizio (m)	Progr Fine (m)	Lung. (m)	Tipo Elem.	Param.	Vs	Ic (%)	Vp (Km/h)	CURVE			RETTIFI			Esito Verif.	
									Raggi min.			Lmin	Lmin	Lmax		Lflesso
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(a)	(b)	(c)	(m)	(m)	(m)	(m)	(10)
1	0.000	41.630	41.630	R			-0.377	33					30	732,37		OK
2	41.630	117.419	75.789	AT	120.000	Dx	0.000	52								
3	117.419	269.163	151.744	C	190.000	Dx	-7.000	72	118	41,63		41,67				OK
4	269.163	318.657	49.494	AF	96.974	Dx	0.000	60								
5	318.657	366.636	47.979	AF	138.534	Sx	0.000	60								
6	366.636	423.597	56.961	C	400.000	Sx	-7.000	97	118	191,39		41,67				OK
7	423.597	468.489	44.892	AT	134.003	Sx	0.000	60								
8	468.489	659.880	191.391	R			-2.500	60					50	1320		OK
9	659.880	715.658	55.778	AT	167.000	Dx	0.000	60								
10	715.658	762.729	47.071	C	500.000	Dx	-6.426	100	118	191,39		46,98				OK
11	762.729	818.507	55.778	AT	167.000	Dx	0.000	76								
12	818.507	968.084	149.577	R			-2.500	94					128,97	2067,8		OK
13	968.084	1.046.307	78.223	AT	234.000	Sx	0.000	100								
14	1.046.307	1.139.596	93.289	C	700.000	Sx	-5.182	100	118	149,58		69,44				OK
15	1.139.596	1.248.817	109.221	AF	276.504	Sx	0.000	100								
16	1.248.817	1.401.726	152.909	AF	276.504	Dx	0.000	92								
17	1.401.726	1.514.651	112.925	C	500.000	Dx	-6.426	100	118	52,45		50,74				OK
18	1.514.651	1.586.835	72.184	AT	189.979	Dx	0.000	55								
19	1.586.835	1.639.283	52.449	R			-0.592	39					30	852,12		OK

#### 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 "B" (DCS04)

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		0,00											
1	D	22,59	0,00	-2,00	22,59	22,59	0,00	0,00	-2,00	30,00	28,79	115,74	OK
2	S	38,95	300,00	2,20	35,66	42,25	6,59	-2,00	0,20	32,45	31,64	135,46	OK
3	D	356,15	10000,00	-0,34	339,01	373,29	34,28	0,20	-0,15	60,00	70,70	462,96	OK
4	S	681,72	5000,00	1,79	636,88	726,56	89,68	-0,15	1,65	61,41	72,58	485,01	OK
5	D	785,87	3000,00	-3,32	736,10	835,65	99,55	1,65	-1,67	75,55	101,22	2726,69	OK
6	S	880,67	5000,00	1,68	838,62	922,72	84,11	-1,67	0,01	86,84	129,76	969,70	OK
7	S	1561,10	2000,00	1,99	1541,20	1581,00	39,80	0,01	2,00	41,90	42,83	225,73	OK
8	D	1623,79	0,00	-2,00	1623,79	1623,79	0,00	2,00	0,00	30,00	28,45	115,74	OK

#### 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 esito 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 quasi sempre compatibile con la distanza necessaria per l'arresto, ad eccezione di alcune curve in cui si reso necessario allargare la piattaforma stradale.

Lungo l'asse "D" è stata anche condotta la verifica della visibilità per il sorpasso (come richiede il DM 5/11/2001) che non viene soddisfatta per buona parte del tracciato stradale. Dai risultati ottenuti si evince che nel verso delle progressive crescenti viene garantita la visibilità per il sorpasso in due tratti di lunghezza 1170 m fra le prog. 0+630 e 1+800 e 700 m fra le progressive 5+460 e 6+170.

Negli appositi elaborati grafici predisposti per le verifiche di ottemperanza al DM. 5/11/2001, vengono riportate le analisi di visuale libera svolte sulla configurazione di progetto che prevede già gli allargamenti in curva.

## **4.2. Intersezioni a raso a T**

---

### **4.2.1. Analisi delle caratteristiche geometriche delle intersezioni a T**

La analisi delle caratteristiche geometriche delle intersezioni a T è stata sviluppata prendendo in esame i seguenti aspetti:

- Facilità di lettura della intersezione;
- Visibilità;

Nella progettazione si è tenuto conto degli spazi necessari per l'esecuzione delle manovre da parte dei veicoli pesanti.

### **4.2.2. Facilità di lettura delle intersezioni**

L' intersezione presente lungo l'asse di progetto risulta ben riconoscibile da parte degli utenti che percorrono l'infrastruttura. Procedendo nel verso delle progressive sia crescenti che decrescenti, l'intersezione appare in rettilineo su livelletta con lieve pendenza (su asse B) in prossimità di curve con raggi di 400m e 500m. Detta posizione unita anche alla limitazione di velocità imposta a 50 km/h su tale tratto di strada, la rende sufficientemente visibile e riconoscibile.

#### **4.2.3. Analisi della visibilità delle intersezioni a raso**

Al fine di valutare la compatibilità delle caratteristiche planimetriche del tracciato stradale con la localizzazione delle intersezioni a raso (a "T") previste in progetto è stata svolta una verifica dei triangoli di visibilità. Detta verifica è stata svolta con riferimento ad una regolazione di entrambe le manovre di immissione dal ramo secondario tramite segnale di STOP (come da progetto). Le verifiche sono state condotte nell' ipotesi che gli eventuali dispositivi di sicurezza presenti, per classe e tipologia di dispositivo utilizzata, non costituiscano ostacolo per la visuale ( $H < 1.10$  m).

Per la costruzione dei triangoli di visibilità si è proceduto nel seguente modo:

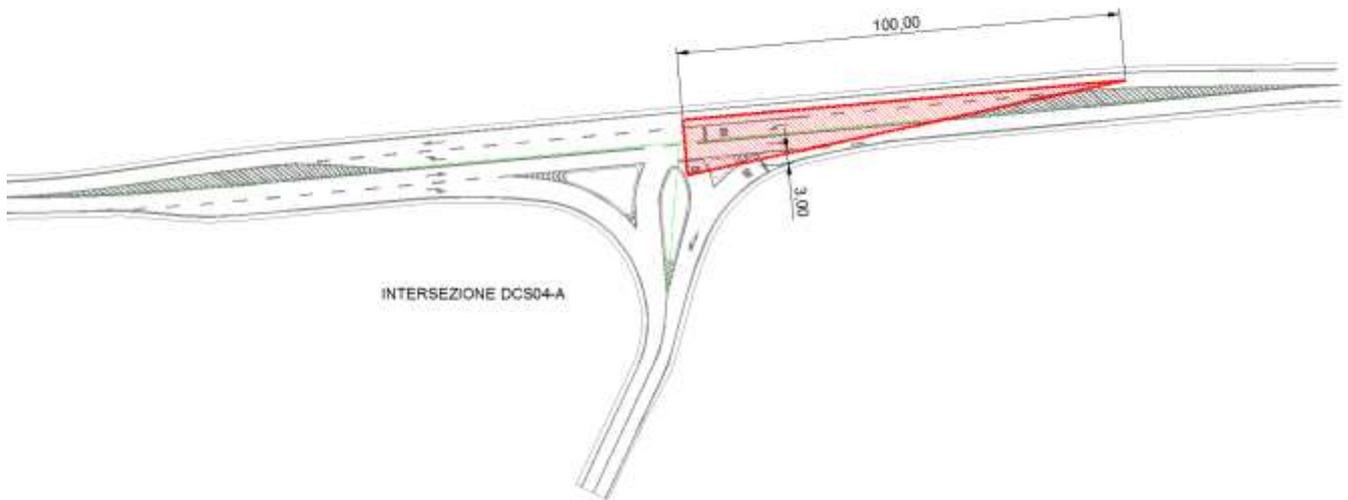
- Il lato maggiore del triangolo di visibilità corrisponde al prodotto della velocità di riferimento della direzione principale desunto dal diagramma delle velocità per il tempo di manovra (6 secondi in quanto regolato da segnale di stop).
- I punti caratteristici per le verifiche di visibilità vanno assunti sulla mezziera delle traiettorie veicolari a cui si riferiscono. Nel caso in oggetto il vertice del triangolo di visibilità relativo alla viabilità secondaria si pone ad una distanza di 3m dalla linea di arresto.

In prossimità di una intersezione ogni oggetto situato al contorno stradale è suscettibile di mascherare la visibilità. Si considerano ostacoli per la visibilità oggetti isolati aventi una delle dimensioni planimetriche superiori a 0.80m.

La velocità di riferimento della direzione principale desunto dal diagramma delle velocità è pari a 60 km/h; si ha quindi che il lato maggiore del triangolo di visibilità è pari a 100m.

L'analisi mostra che i triangoli di visibilità relativi alle manovre di immissione regolate da STOP sono sempre risultati liberi da ostacoli, pertanto si ha la visibilità necessaria per la percezione dell'intersezione.





### 4.3. Intersezioni a rotatoria

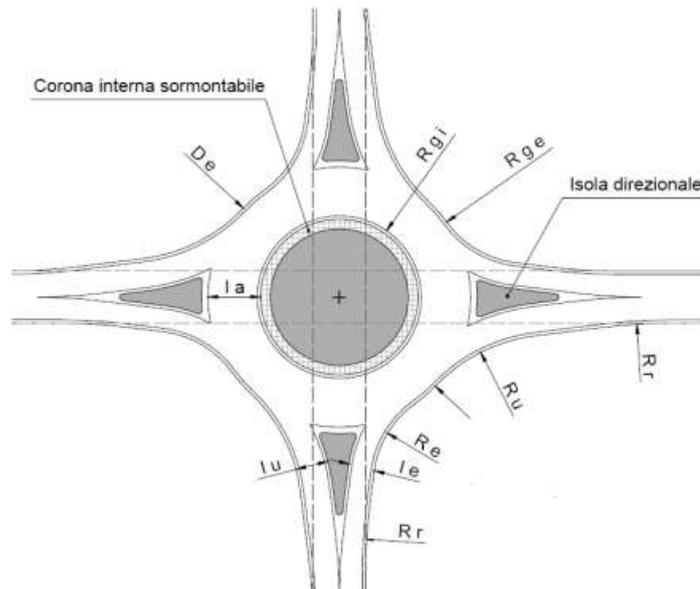
#### 4.3.1. Verifica delle caratteristiche geometriche per le rotatorie

Il progetto prevede la seguente rotatoria:

1. Rotatoria "DCS08-B" sull'intersezione con la via degli Orologi; Rest= 23,50 m;

La rotatoria di Rest pari a 23,50 m è classificata, secondo lo schema indicato dalla normativa, come Rotatorie convenzionali.

La rotatoria presenta una larghezza dell'anello giratorio pari a 8,00 m composto da due banchine da 1,00 m e una corsia di circolazione pari a 6,00 m.



Elementi di progetto delle rotonde

#### 4.3.2. Analisi della Deflessione

Si definisce deflessione di una traiettoria il raggio dell'arco di cerchio che passa a 1,50 m dal bordo dell'isola centrale e a 2,00 m dal ciglio delle corsie di entrata e uscita.

Tale raggio non deve superare i valori di 100 m, è preferibile adottare valori sensibilmente inferiori a questo limite massimo.

Per la verifica della deflessione si è fatto riferimento alla normativa della Regione Lombardia la cui verifica è compatibile con la verifica dell'angolo beta (DM 2006); il riferimento in particolare al Regolamento Regionale (regione lombardia) 24 aprile 2006, N. 7 (Par. 3.A.6)

Dalla figura di seguito riportata si evince che il raggio di deflessione è sempre minore di 100m; in tal modo le velocità inerenti alle traiettorie "più tese" non potranno essere mai superiori a 50km/h.

Verifica deflessione Rotatoria DCS04-B "RB":



#### **4.3.3. Analisi delle Visibilità**

L'analisi delle visibilità relativa agli accessi alle rotatorie è stata sviluppata per fornire indicazioni progettuali sulle aree da mantenere libere da ostacoli al margine delle rotatorie stesse o nelle isole centrali. In particolare si devono adottare le seguenti prescrizioni:

- Il punto di osservazione si pone ad una distanza di 15m dalla linea di arresto coincidente con il bordo della circonferenza esterna;
- la posizione planimetrica si pone sulla mezziera della corsia di entrata in rotatoria (o delle corsie di entrata) e l'altezza di osservazione si colloca ad 1m sul piano viabile;
- la zona di cui è necessaria la visibilità completa corrisponde al quarto di corona giratoria posta alla sinistra del canale di accesso considerato.

Nella corona giratoria è stato previsto comunque di lasciare libera da ogni tipologia di ostacolo una fascia di larghezza pari a 2.5 m misurata a partire dal bordo interno dell'anello.

Nella rotatoria in esame la verifica dà esito positivo in quanto non sono presenti ostacoli nelle aree di visibilità.

Relativamente a dette aree, il progetto infatti non prevede l'installazione di alcun dispositivo o la realizzazione di alcun manufatto che non consenta all'utente in approccio alla rotatoria di non avere una corretta percezione del quarto di anello alla sua sinistra.

Pertanto si ritengono verificate le rotatorie relativamente alle visuali libere.

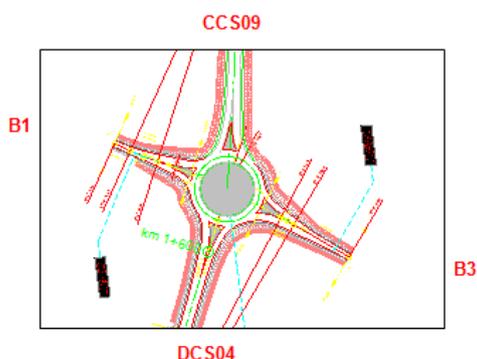
#### 4.3.4. Analisi del livello di servizio

La determinazione del livello di servizio delle intersezioni a rotatoria in progetto è stata condotta in funzione ai dati di traffico desunti dall'analisi trasportistica (rif. elaborato PD\_0\_000\_00000\_0\_GE\_RH\_01\_A) in base ai valori di flusso riferiti al 2030 nell'ora di punta del mattino (giorno medio invernale).

Si riportano di seguito le matrici O/D desunte dallo studio di traffico.

#### DCS04-B

Ora di punta del mattino (giorno medio invernale)					
O	D	Veicoli leggeri	Veicoli pesanti	Veicoli totali effettivi	Veicoli equivalenti
DCS04	B1	10	0	10	10
DCS04	CCS09	760	80	840	920
DCS04	B2	10	0	10	10
B1	CCS09	10	0	10	10
B1	B2	4	0	4	4
B1	DCS04	10	0	10	10
CCS09	B2	10	0	10	10
CCS09	DCS04	650	80	730	810
CCS09	B1	10	0	10	10
B2	DCS04	10	0	10	10
B2	B1	4	0	4	4
B2	CCS09	10	0	10	10
					<b>1818</b>



modifica ordine qui -->		Rami in entrata			
		DCS04	B1	CCS09	B2
Rami in uscita	DCS04		41,67%	97,59%	41,67%
	B1	1,06%		1,20%	16,67%
	CCS09	97,87%	41,67%		41,67%
	B2	1,06%	16,67%	1,20%	

La determinazione del livello di servizio è stata condotta con il metodo SETRA secondo i criteri descritti nel paragrafo 3.3.4 tramite opportuno software di calcolo.

Le intersezioni in progetto risultano avere livello di servizio, ottenuto sul ramo critico, superiore o uguale a quello prescritto dal D.M. 05.11.2001 per il tipo di strade confluenti nel nodo.

Si allegano i tabulati di verifica del livello di servizio.

ALLEGATO: Verifiche di capacità rotatoria DCS04-B

# 1FE-DCS04-B

## Distribuzione e flussi

### Matrice di distribuzione - Percentuali (%)

		Rami di entrata				Flussi entranti Qe (eph)	Flussi uscenti Qu (eph)	Flussi anello Qc (eph)
		DCS04	B1	CCS09	B2			
Rami di uscita	DCS04	0.00	41.67	97.60	41.67	830.0	937.4	25.3
	B1	1.06	0.00	1.20	16.66	24.0	24.1	831.2
	CCS09	97.88	41.67	0.00	41.67	940.0	832.4	22.8
	B2	1.06	16.66	1.20	0.00	24.0	24.1	938.7
	Verifica 100%	100.00	100.00	100.00	100.00	1,818.0	1,818.0	

Periodo di analisi = 0.25

## Caratteristiche geometriche della rotatoria e degli innesti

Ramo	SEP (m)	ENT (m)	Capacità dei bracci							Capacità totale della rotatoria	Livello di servizio							
			Q'e (eph)	Q'u (eph)	Qd (eph)	K' (eph)	$\delta$	K (eph)	Qe,k (eph)	$\Delta K$ (eph)	Q*e (eph)	x	tm (s)	Lm	Lm (m)	Lmax	Lmax (m)	LOS
DCS04	10.20	3.50	830.0	300.0	225.3	1,172.3	1.35	1,131.2	1,046.2	85.0	917.1	0.71	15.1	3.5	20.9	6.3	38.0	C
B1	10.28	3.50	24.0	7.6	836.3	744.6	2.18	592.1	30.3	561.9	534.7	0.03	10.0	0.1	0.4	0.1	0.6	A
CCS09	11.17	3.50	940.0	212.5	164.5	1,214.9	1.26	1,184.9	1,184.9	0.0	946.7	0.77	17.3	4.5	27.0	8.3	49.6	C
B2	8.37	3.50	24.0	10.6	945.8	667.9	1.94	495.5	30.3	465.2	496.6	0.04	10.6	0.1	0.4	0.1	0.7	B

ANN (m) = 8.00

$\delta_{i,min}$  = 1.26  
 Qe,k,tot (eph) = 2291.6

Ctot (eph) = 2895.1

Diagramma di flusso

