

IL CONCEDENTE

IL CONCESSIONARIO



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

CODICE C.U.P. E81B08000060009

PROGETTO DEFINITIVO

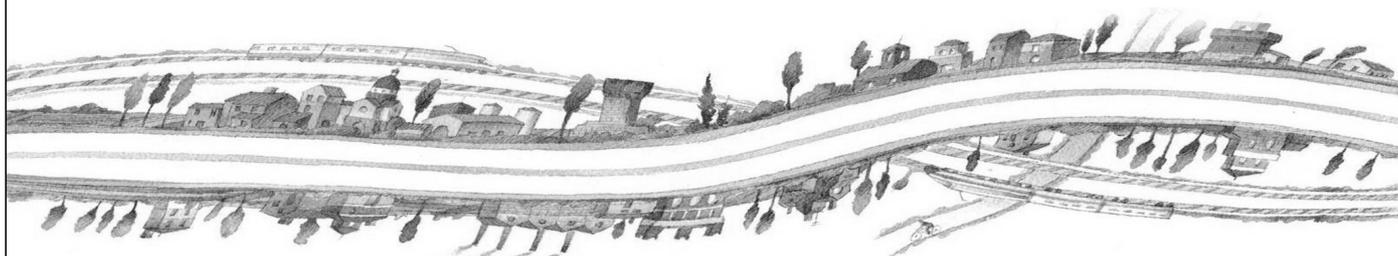
ASSE AUTOSTRADALE (COMPRESIVO DEGLI INTERVENTI LOCALI DI COLLEGAMENTO VIARIO AL SISTEMA AUTOSTRADALE)

PROGETTAZIONE STRADALE

VIABILITA' DI COLLEGAMENTO

C06 (EX MO05) INTERSEZIONE A ROTATORIA TRA LA S.S. 12 "DELL'ABETONE E DEL BRENNERO",
VIA DI MEZZO E VIA CAMURANA - COMUNE DI MIRANDOLA

RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA DEL TRACCIATO



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. Gardani	Ing. Bonfanti
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDAZIONE	CONTROLLO	APPROVAZIONE

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

NUM. PROGR.	FASE	LOTTO	GRUPPO	CODICE OPERA WBS	TRATTO OPERA	AMBITO	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVO	REV.
1352	PD	0	C06	CCS06	0	SD	RG	01	A

DATA: MAGGIO 2012

SCALA:



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

PROGETTAZIONE STRADALE

VIABILITÀ DI COLLEGAMENTO

C06 (EX M005) INTERSEZIONE A ROTATORIA TRA LA S.S. 12 , VIA DI MEZZO E VIA CAMURANA - COMUNE DI MIRANDOLA
RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA DEL TRACCIATO

AUTOSTRADA REGIONALE CISPADANA

VIABILITÀ DI COLLEGAMENTO

RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA DEL TRACCIATO

INDICE

1. PREMESSA	3
2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO STRADALE	4
2.1. Piattaforma stradale e sezioni tipo	4
3. PROGETTAZIONE ASSI STRADALI	8
3.1. Inquadramento Normativo	8
3.2. Criteri progettuali principali	8
3.2.1. Caratteristiche planimetriche	8
3.2.2. Caratteristiche altimetriche	12
3.2.3. Analisi di visibilità	14
3.2.4. Rappresentazione dei risultati	17
3.3. Progettazione delle intersezioni a rotatoria	18
3.3.1. Dimensionamento degli elementi modulari.....	18
3.3.2. Geometria della rotatoria e analisi di visibilità	20
3.3.3. Determinazione delle aree di visibilità	21
3.3.4. Determinazione del livello di servizio.....	22
4. RISULTATI DELLE VERIFICHE DI CONGRUENZA CON LE NORMATIVE DI RIFERIMENTO	26
4.1. Intersezioni a rotatoria	26
4.1.1. Verifica delle caratteristiche geometriche per le rotatorie	26
4.1.2. Analisi della Deflessione	27
4.1.3. Analisi delle Visibilità	29
4.1.4. Analisi del livello di servizio	30

1. PREMESSA

Il progetto definitivo presentato in questa sede è coerente con il progetto preliminare dell'intervento. In particolare si tratta dell'organizzazione a rotatoria di un incrocio a raso esistente.

Il dimensionamento della rotatoria è avvenuto ai sensi del D.M. 1699 del 19/04/2006 sulla base dei risultati dello studio di traffico effettuato nell'ambito della presente progettazione definitiva.

Tenuto conto che l'intervento in progetto è ubicato in un ambito periurbano, su un'intersezione canalizzata, esistente con forti vincoli al contorno, costituiti dalle urbanizzazioni residenziali e industriali preesistenti, è stata apportata una modesta modifica al progetto preliminare, costituita da una traslazione di alcuni metri verso nord dell'anello, al fine di ricucire la pista ciclabile esistente nel quadrante sud est e al fine di diminuire il più possibile l'entità della superficie scoperta del fabbricato esistente nel quadrante sud ovest soggetta ad esproprio.

Per quanto riguarda i riferimenti alle tematiche legate alla topografia, geologia, idrologia, idrogeologia, geotecnica, sismica, ambiente e alle tematiche più generali si rimanda alla relazione descrittiva dell'autostrada cispadana (PD_0_000_00000_0_GE_RG_01_A).

2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO STRADALE

L'intervento si colloca a Sud del nuovo asse autostradale e rappresenta il completamento della serie di opere che consentono di razionalizzare Via di Mezzo, costituente la via principale d'accesso all'area artigianale di Mirandola. Attualmente l'incrocio fra la S.S. n° 12 "dell'Abetone e del Brennero", via Camurana e via di Mezzo è canalizzato mediante isole separatrici e regolato da un impianto semaforico, causa di prolungati fenomeni di formazione di code, in virtù dell'elevato volume di traffico presente sulla statale. Attraverso l'introduzione di una rotatoria, nel rispetto della normativa vigente, si regolamenta l'intersezione rendendola più flessibile, in grado di adattarsi alle esigenze di eventuali variazioni dei volumi di traffico.

2.1. PIATTAFORMA STRADALE E SEZIONI TIPO

L'intersezione prevista in progetto ha le caratteristiche geometriche di seguito specificate:

ROTATORIA	INTERSEZIONI CON STRADE	N° BRACCI	DIAMETRO (m)
	S.S. n° 12 "dell'Abetone e del Brennero", via Camurana e via di Mezzo	4	47

La rotatoria è di tipo "convenzionale", con precedenza al flusso circolante nell'anello di rotazione, caratterizzata da bracci che presentano un allargamento in corrispondenza delle immissioni, e sono regolati con la disciplina della priorità all'anello.

L'anello di circolazione è costituito da un'unica corsia di larghezza pari a 6,00 m, dotata di banchine laterali interna ed esterna di larghezza rispettivamente pari a 0,50 e 1,00 m. All'interno della rotatoria è prevista un'aiuola centrale sistemata a verde, delimitata da un cordolo non sormontabile. È prevista la realizzazione dell'arginello esterno di larghezza 1.30 m eccetto nel quadrante sud est nel quale al margine è presente una pista ciclabile a raso di larghezza lorda pari a 3,00 m compreso cordolo di separazione dalla carreggiata stradale.

Le caratteristiche geometriche adottate sono:

PARAMETRO	DIMENSIONE (m)
DIAMETRO ESTERNO (ciglio)	47
ANELLO GIRATORIO	
CORSIA ANELLO	6
BANCHINA ESTERNA ANELLO	1
BANCHINA INTERNA ANELLO	0,5
ANELLO TOTALE	7,5
PENDENZA %	2 (esterno rotatoria)
BRACCIO DI INGRESSO	
CORSIA INGRESSO	3,5
BANCHINA ESTERNA INGRESSO	1
BANCHINA INTERNO INGRESSO	0,5
INGRESSO TOTALE	5
R1 ING	20
R2 ING	60
BRACCIO DI USCITA	
CORSIA USCITA	4,5
BANCHINA ESTERNA USCITA	1
BANCHINA INTERNA USCITA	0,5
USCITA TOTALE	6
R1 USC	30
R2 USC	80

Tali geometrie consentono velocità nell'anello ridotte allo scopo di garantire un'adeguata sicurezza della circolazione a tutte le tipologie di utenti della strada ed una migliore protezione degli utenti "deboli".

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 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.

Per i rami principali di ingresso ed uscita della rotatoria, 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.

I rami secondari afferenti a viabilità marginali derogano da questa geometria e presentano corsie in ingresso ed uscita di larghezza limitate ad un minimo di 3,00 m.



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

PROGETTAZIONE STRADALE

VIABILITÀ DI COLLEGAMENTO

C06 (EX MO05) INTERSEZIONE A ROTATORIA TRA LA S.S. 12, VIA DI MEZZO E VIA CAMURANA - COMUNE DI MIRANDOLA

RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA DEL TRACCIATO

3. PROGETTAZIONE ASSI STRADALI

3.1. INQUADRAMENTO NORMATIVO

Per un quadro esaustivo della normativa applicata si faccia riferimento all'elaborato:

PD_0_0000_0000_0_GE_KT_01 Elenco delle Normative di riferimento

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 rettilineo (L) che la precede:

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

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

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

Nel caso di passaggio da curve di raggio più grande a curve di raggio più piccolo si dovrà fare riferimento all'abaco estratto dalla norma e riportato in Figura 1;

(d) Lunghezza massima dei rettilinei:

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

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

(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

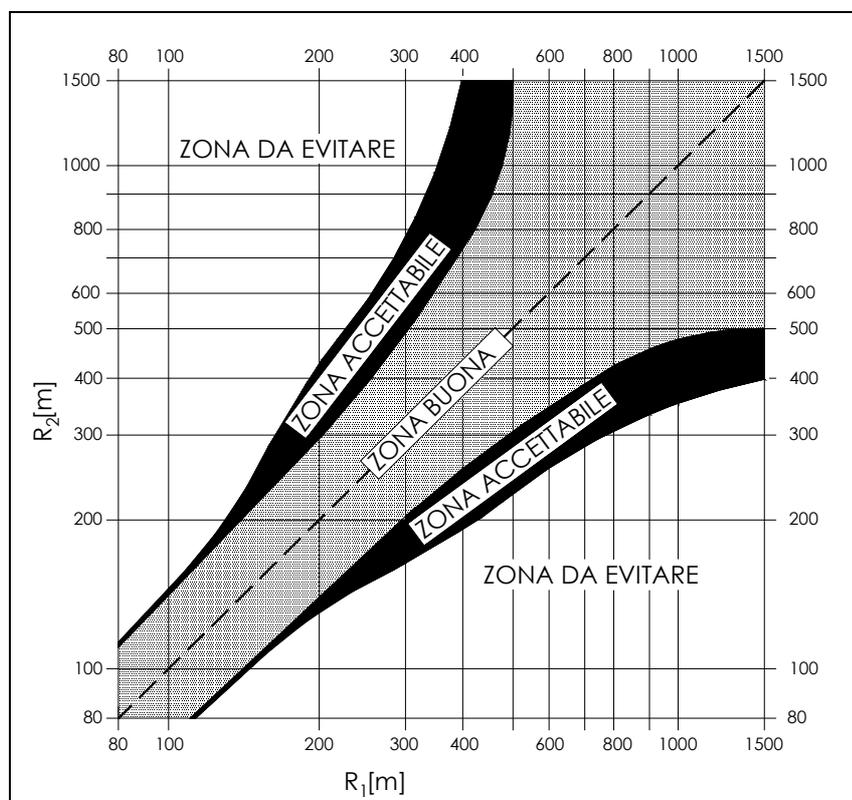


FIGURA 1 – ABACO DI KOPPEL (DM 05/ 11/01)

(f) Congruenza del diagramma delle velocità.

La norma prevede che per $V_{p,max} \leq 100$ 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:

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

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 R_1 è il raggio minore ed R_2 il raggio maggiore dei due cerchi raccordati con la clotoide di continuità.

Oltre ai criteri precedentemente descritti si è proceduto alla verifica del rapporto A_E/A_U delle due clotoidi in ingresso e in uscita da una curva circolare e del rapporto A_1/A_2 tra due clotoidi in un flesso asimmetrico, secondo quanto prescritto dal D.M. 5/11/2001:

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

3.2.2. 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]
- Δi = variazione di pendenza delle due livellette, espressa in percento
- h_1 = altezza sul piano stradale dell'occhio del conducente [m]
- h_2 = altezza dell'ostacolo [m]

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

(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:

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

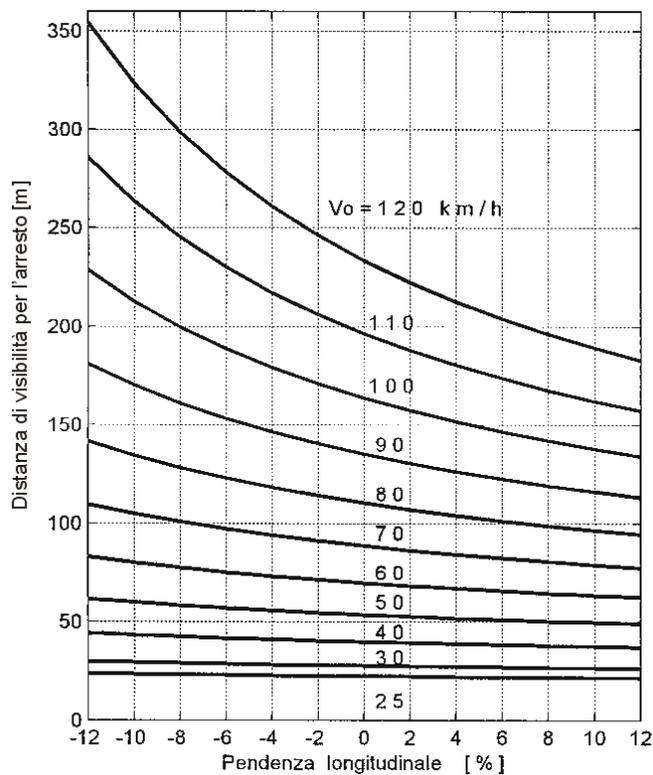
dove:

- 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:

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

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.

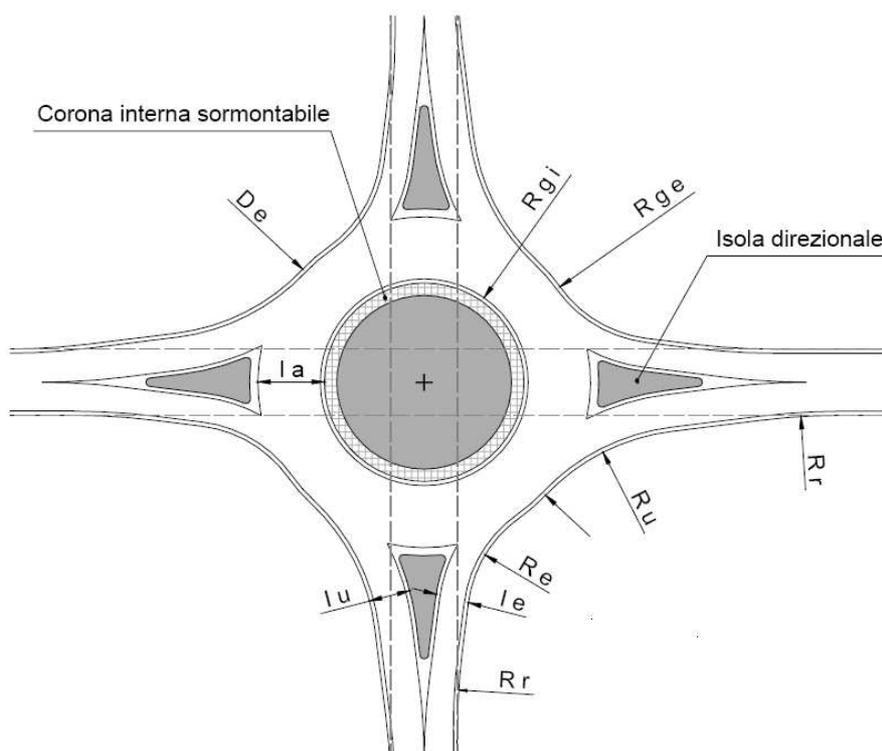
3.2.4. Rappresentazione dei risultati

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, come definite dalla normativa regionale:

	Notazione	Intervello di validità	di	Mini rotatorie sormontabili	Mini rotatorie parzialmente sormontabili	Rotatorie compatte	Grandi Rotatorie
Diametro esterno della rotatoria	De	De ≥ (14 m)	18	14÷18	18÷26	26÷50	>50 m
Raggio giratorio esterno	Rge	De/2		7÷9	9÷13	13÷25	>25 m

Raggio giratorio interno	Rgi	Rgi - la	0÷2	variabile	variabile	variabile
Larghezza dell'anello	la	$7 \text{ m} \leq la \leq 9 \text{ m}$	7÷8	7÷8	8÷9	9÷10
Larghezza anello interno sormontabile	Lis	$0 \leq lis \leq 2 \text{ m}$	Isola centrale completamente sormontabile	1,5÷2	1,5÷2	0
Raggio d'entrata	Re	$10 \text{ m} \leq Re \leq De/2$	10	10÷13	10÷25	$10 \div De/2$
Larghezza corsia entrante	Le*	$4 \text{ m} \leq le \leq 4,5 \text{ m}$ (1 corsia) $7 \text{ m} \leq le \leq 9 \text{ m}$ (2 corsie)	$le \leq 4,5$ (1 c.)	$le \leq 4,5$ (1 c.)	$4 \leq le \leq 4,5$ (1 c.) $7 \leq le \leq 9$ (2 c.)	$4 \leq le \leq 4,5$ (1 c.) $7 \leq le \leq 9$ (2 c.)
Raggio d'uscita	Ru	$15 \text{ m} \leq Ru \leq 30 \text{ m}$	15÷30	15÷30	15÷30	15-30 m
Larghezza corsia uscita	lu	$4,5 \text{ m} \leq lu \leq 6 \text{ m}$ (1 corsia) $7,5 \text{ m} \leq lu \leq 9 \text{ m}$ (2 corsie)	$lu \leq 6$ (1 c.)	$lu \leq 6$ (1 c.)	$4,5 \leq lu \leq 6$ (1 c.) $7,5 \leq lu \leq 9$ (2 c.)	$4,5 \leq lu \leq 6$ (1 c.) $7,5 \leq lu \leq 9$ (2 c.)
Raggio di raccordo	Rr	$2 \times De$	28÷36	36÷52	52÷100	>100 m

(*) Al fine di migliorare le performances in termini di capacità, di smaltimento dei flussi di traffico e di sicurezza complessiva del nodo, si ritiene ragionevole intendere il valore della larghezza della corsia di ingresso indicata dalla norme regionali come valore minimo. Nel progetto verranno quindi adottate dimensioni leggermente superiori.

La norma non fornisce chiare indicazioni relativamente alle dimensioni delle banchine da prevedere nella corona rotatoria. Per quanto riguarda la banchina esterna è stata assunta una larghezza pari a 1.00. Per la banchina interna dovranno essere utilizzate dimensioni minime di 0.50 m, incrementabili se necessario ai fini

della funzionalità della rotatoria in relazione agli ingombri dei veicoli pesanti, previa verifica del rispetto degli angoli di deflessione.

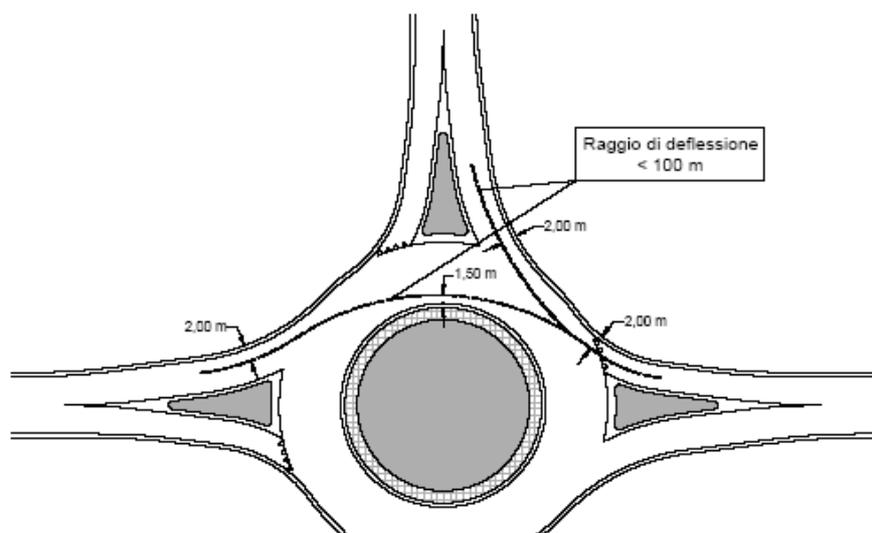
Onde garantire la migliore efficacia dello scolo delle acque meteoriche, la normativa regionale prescrive la pendenza della carreggiata anulare nelle rotatorie aventi diametro esterno $De \leq 50$ m rivolta verso l'esterno (pendenza 1,5- 2%). Mentre per rotatorie con diametro $De > 50$ m una pendenza verso l'interno (1,5-3%).

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.

La normativa regionale 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.



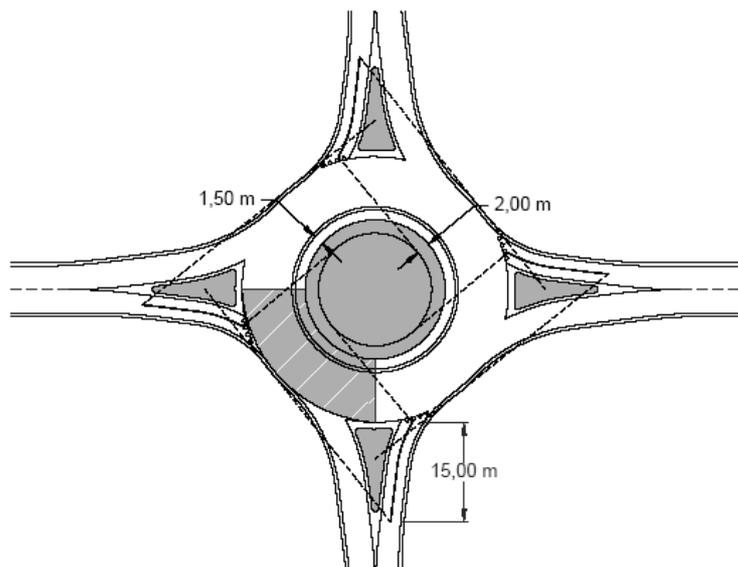
COSTRUZIONE DELLA VERIFICA DI DEFLESSIONE DA GARANTIRE NELLE ROTATORIE

3.3.3. Determinazione delle aree di visibilità

Gli utenti che si avvicinano ad una rotatoria 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 mezzeria della corsia di entrata in rotatoria (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.



CONSTRUZIONE 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 Qd 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]

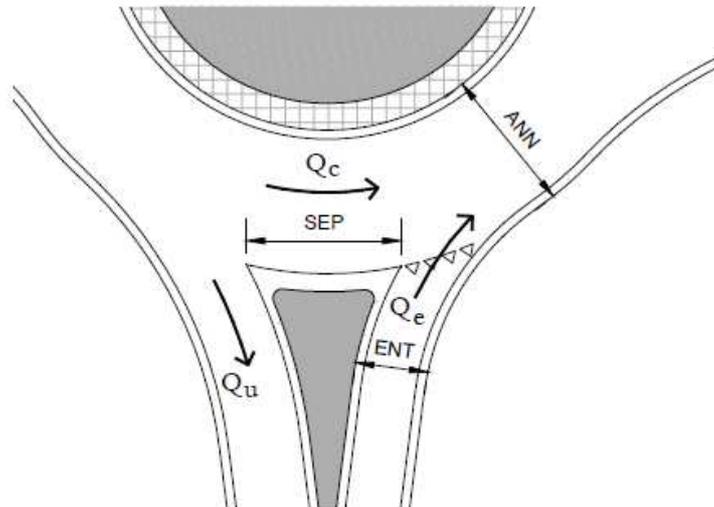


FIGURA 6-1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E DI TRAFFICO DI UNA ROTATORIA

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 ($D_e/2$) [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:



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

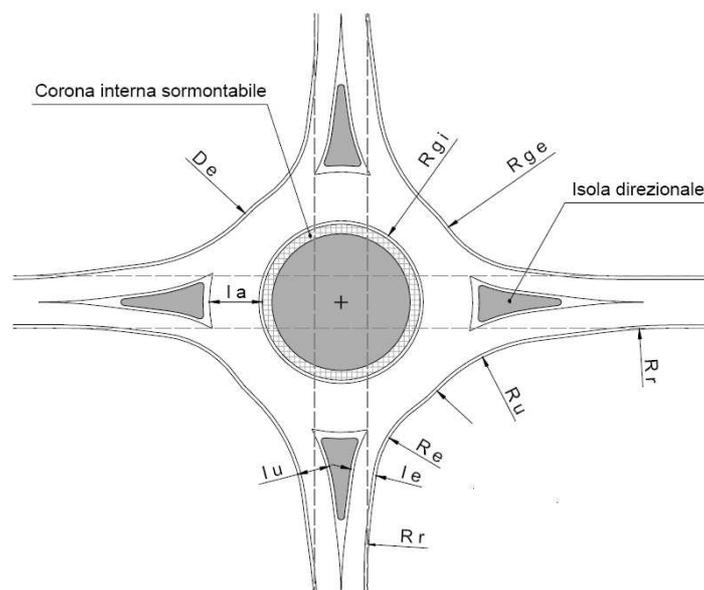
4. RISULTATI DELLE VERIFICHE DI CONGRUENZA CON LE NORMATIVE DI RIFERIMENTO

4.1. INTERSEZIONI A ROTATORIA

4.1.1. Verifica delle caratteristiche geometriche per le rotatorie

La rotatoria di Rest pari a 32,00 m è classificata, secondo lo schema indicato dalla normativa regionale, come Rotatorie compatta.

Essa presenta una larghezza dell'anello giratorio pari a 8.50 m composto da un'unica corsia di larghezza pari a 7,00 m, dotata di banchine laterali interna ed esterna di larghezza rispettivamente pari a 0,50 e 1,00 m.



ELEMENTI DI PROGETTO DELLA ROTATORIA

Rotatoria "R1"

ROTATORIE COMPATTE						
	Notazione	Intervallo di validità	Asse A	Asse B	Asse C	Asse D
Raggio d'entrata	<i>Re</i>	10÷25	20	20	20	20
Largh. corsia entrante	<i>Le*</i>	4 ≤ <i>le</i> ≤ 5.5 (1 c.) 7 ≤ <i>le</i> ≤ 9 (2 c.)	5,00	5,00	5,00	5,00
Raggio uscita	<i>Ru</i>	15÷30	30	30	30	30
Largh corsia uscita	<i>lu</i>	4,5 ≤ <i>lu</i> ≤ 6 (1 c.) 7,5 ≤ <i>lu</i> ≤ 9 (2 c.)	6,00	6,00	6,00	6,00
Raggio di raccordo	<i>Rr</i>	52÷100	80	90,00	55,00	80,00
Pendenza trasversale	<i>Pt</i>	2.0% rivolta verso l'esterno				

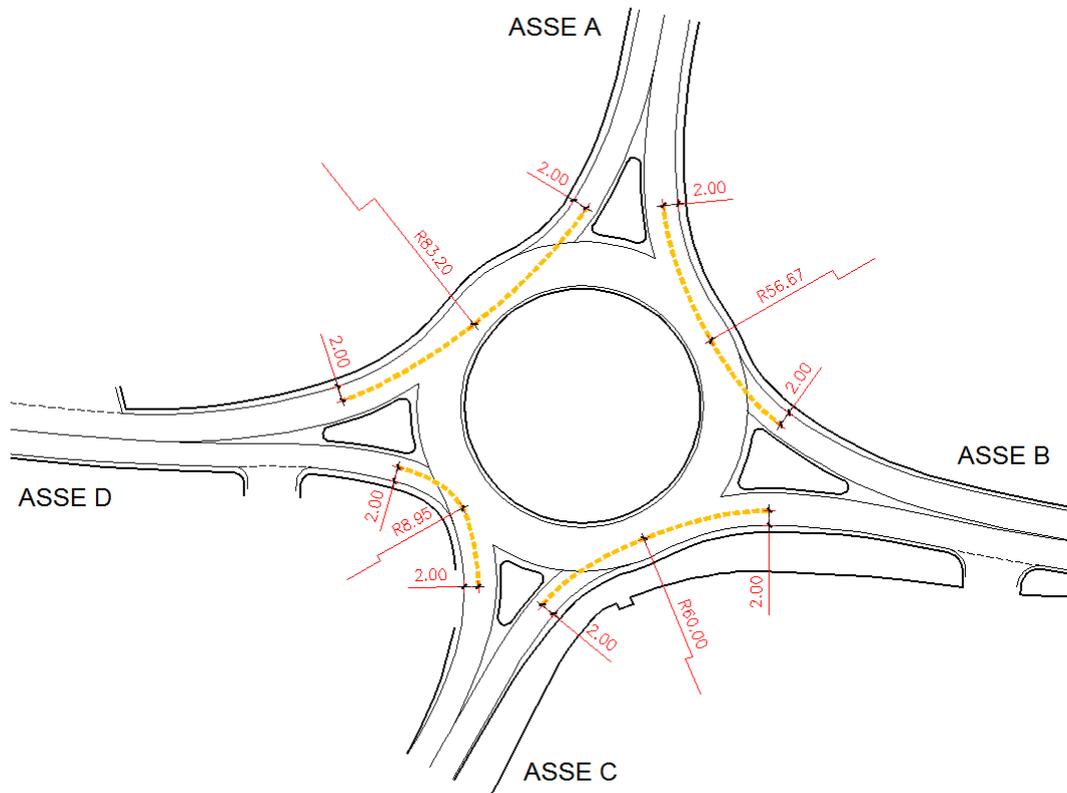
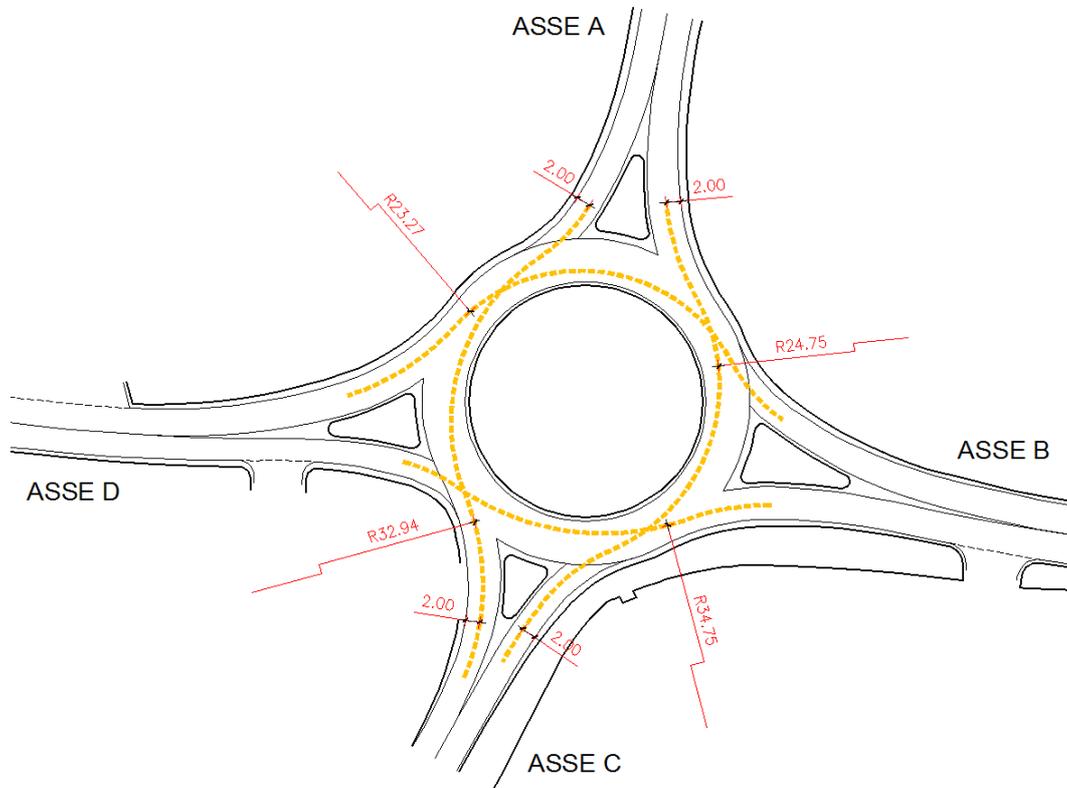
4.1.2. Analisi della Deflessione

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.

Dalla figure di seguito riportate 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 "R1":



Dalle figure sopra riportate si evince che il raggio di deflessione è sempre verificato.

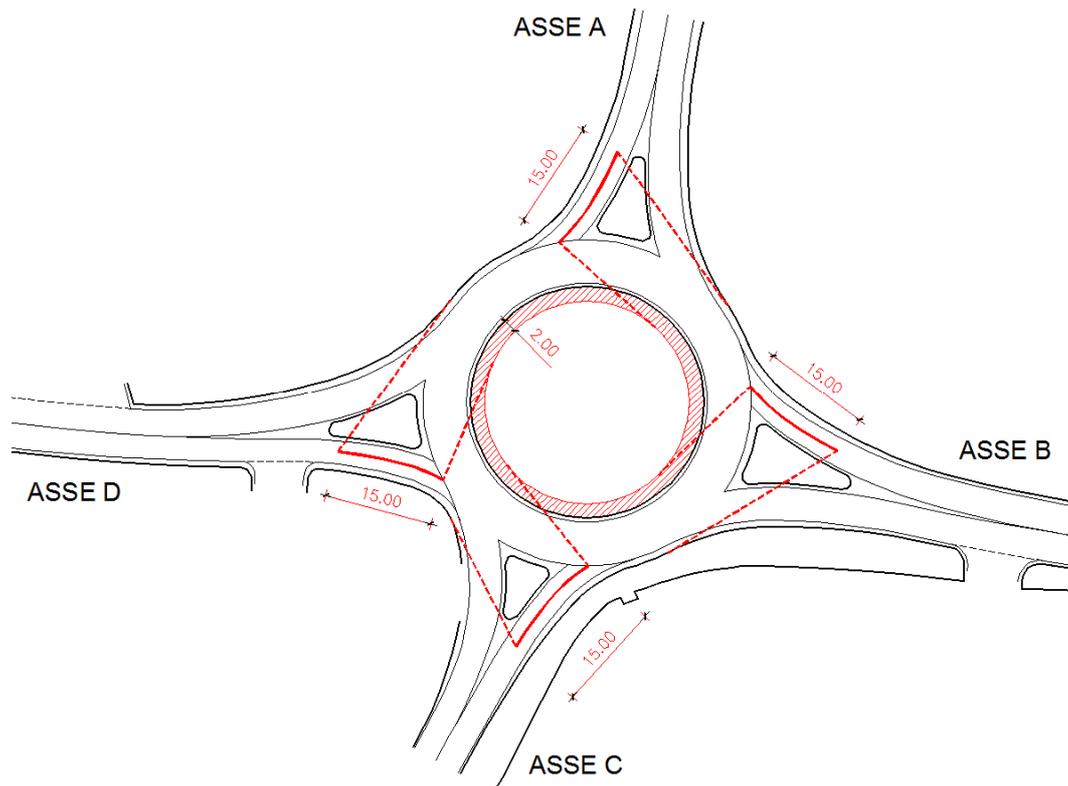
4.1.3. Analisi delle Visibilità

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 mezzeria 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 2.0m misurata a partire dal bordo interno della banchina centrale. Il risultato è rappresentato nelle figure riportate di seguito in cui sono rappresentate le superfici nelle quali non devono essere previsti ostacoli di altezza superiore ad 1.0m.

Verifica visibilità Rotatoria "R1":



Dalle verifiche sopra effettuate si evince che nelle aree evidenziate non sono presenti ostacoli che impediscono la visibilità dei veicoli in ingresso in rotatoria.

Relativamente a dette aree, il progetto 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 ritiene verificata la rotatoria relativamente alle visuali libere.

4.1.4. Analisi del livello di servizio

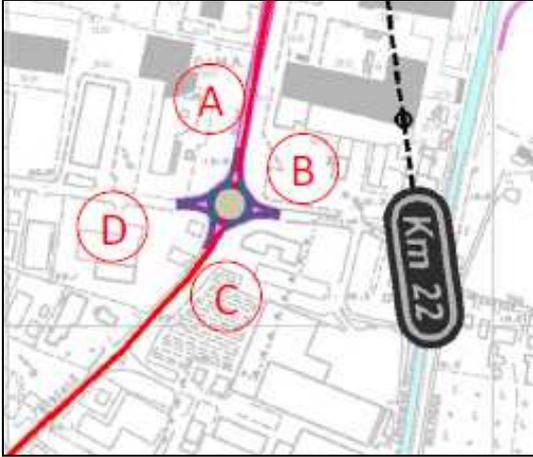
La determinazione del livello di servizio delle intersezioni a rotatoria in progetto è stata condotta in funzione ai dati di traffico desunti dalla analisi trasportistica (rif. elaborato PD_0_000_00000_0_GE_RH_01_A) in base ai valori di flusso riferiti al 2030 nell'ora di punta del mattino (giorno medio invernale).

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

ROTATORIA - R1

Ora di punta del mattino (giorno medio invernale)					
O	D	Veicoli leggeri	Veicoli pesanti	Veicoli totali effettivi	Veicoli equivalenti
C	B	40	5	45	50
C	D	200	10	210	220
C	A	230	10	240	250
B	C	30	5	35	40
B	D	170	40	210	250
B	A	450	10	460	470
D	C	100	10	110	120
D	B	170	10	180	190
D	A	40	0	40	40
A	C	270	45	315	360
A	B	320	20	340	360
A	D	20	5	25	30

MATRICE DI DISTRIBUZIONE				
	A	B	C	D
A	-	61.84%	48.08%	11.43%
B	48.00%	-	9.62%	32.89%
C	48.00%	5.26%	-	42.31%
D	4.00%	32.89%	42.31%	-
SOMMANO	100%	100%	100%	100%



	TOTALE	
	ORIGINE / ENTRANTI	DESTINAZIONE / USCENTI
A	750	760
B	760	600
C	520	520
D	350	500
FLUSSO CIRCOLANTE	2380	2380

Caratteristiche geometriche e di raffico rotatoria MO-05 R9

Flussi di svolta

O/D	A	B	C	D	INGRESSI
A	-	360	360	30	750 veq/h
B	470	-	40	250	760 veq/h
C	250	50	-	220	520 veq/h
D	40	190	120	-	350 veq/h
USCITE	760 veq/h	600 veq/h	520 veq/h	500 veq/h	2380 veq/h

Flussi di svolta (in percentuale)

O/D	A	B	C	D
A	-	48.00%	48.00%	4.00%
B	61.84%	-	5.26%	32.89%
C	48.08%	9.62%	-	42.31%
D	11.43%	54.29%	34.29%	-

TOT. INGR. 2380 veq/h

TOT. USCITE 2380 veq/h

Caratteristiche geometriche rotatoria

	Ramo A	Ramo B	Ramo C	Ramo D
SEP (m)	11.30	12.30	10.15	11.40
ANN (m)	6.00	6.00	6.00	6.00
ENT (m)	3.50	3.50	3.50	3.50

Larghezza isola separatrice
 Larghezza dell'anello
 Larghezza corsia di ingresso

Verifica della capacità di singoli bracci (procedura SETRA)

	Ramo A	Ramo B	Ramo C	Ramo D
Qe	750	760	520	350
Qu	760	600	520	500
Qc	510	510	590	760
Qe'	750	760	520	350
Qu'	187	108	168	120
Qd	743	681	821	983
C	810	853	755	642
RC%	8%	12%	45%	83%
di	1.05	1.08	1.21	1.28

Traffico entrante
 Traffico uscente
 Traffico circolante
 Traffico entrante equivalente
 Traffico uscente equivalente
 Flusso generale di disturbo
 Capacità ingresso
 Riserva di capacità percentuale
 Tasso di crescita max del traffico

Caratteristiche prestazionali della rotatoria dopo la saturazione del primo ramo

Ramo saturo: Ramo A
 Capacità semplice: 785 veq/h
 % crescita traffico: 5%

	Ramo A	Ramo B	Ramo C	Ramo D
Qe,s	785	796	545	367
Qs	785	831	728	610
RC	0	35	183	243
RC%	0%	4%	34%	66%

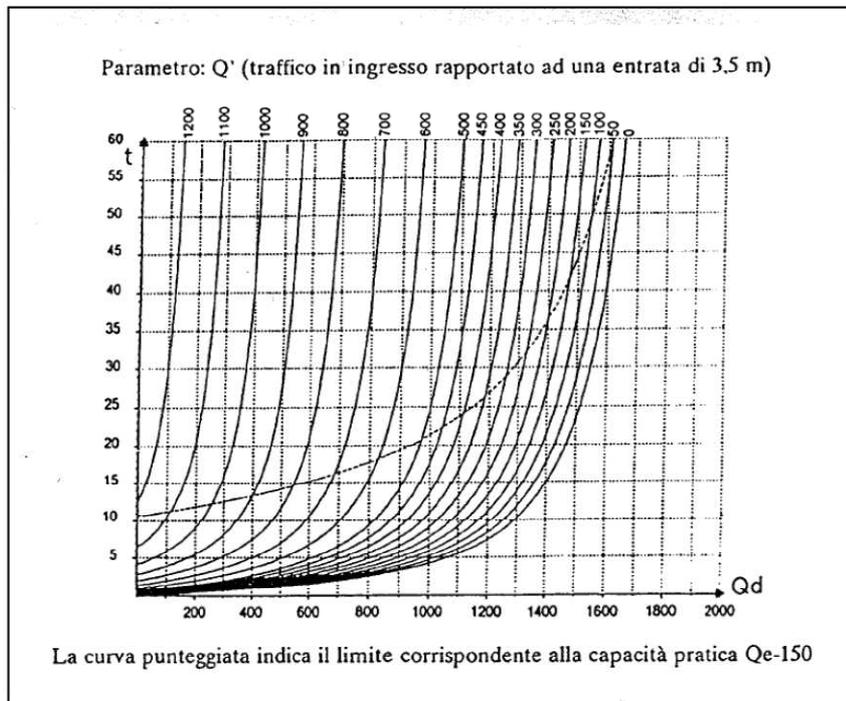
Verifica della capacità totale della rotatoria (procedura SETRA)

	Ramo A	Ramo B	Ramo C	Ramo D
Qe	778	766	582	616
Qu	824	764	625	529
Qc	539	597	778	787
Qe'	778	766	582	616
Qu'	203	137	202	127
Qd	789	805	1068	1020
C	778	766	582	616
RC%	0%	0%	0%	0%
di	1.00	1.00	1.00	1.00

Capacità totale ideale : 2743 veq/h

Verifica del Livello di Servizio

Tempi medi di attesa in ingresso in rotatoria



Ramo	Qe' (veq/h)	Qd (veq/h)	t med (s)
Ramo A	750	743	2
Ramo B	760	681	3
Ramo C	520	821	3
Ramo D	350	983	2

Come stabilito dall'HCM 2000 il livello di servizio viene associato al tempo medio di attesa secondo la seguente tabella:

Lds	t medio (s)
A	< 10 s
B	10 - 15 s
C	15 - 25 s
D	25 - 35 s
E	35 - 50 s
F	> 50 s

Ramo	t medio (s)	Lds
Ramo A	2	A
Ramo B	3	A
Ramo C	3	A
Ramo D	2	A

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.