



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

CODICE C.U.P. E81B0800060009

PROGETTO DEFINITIVO

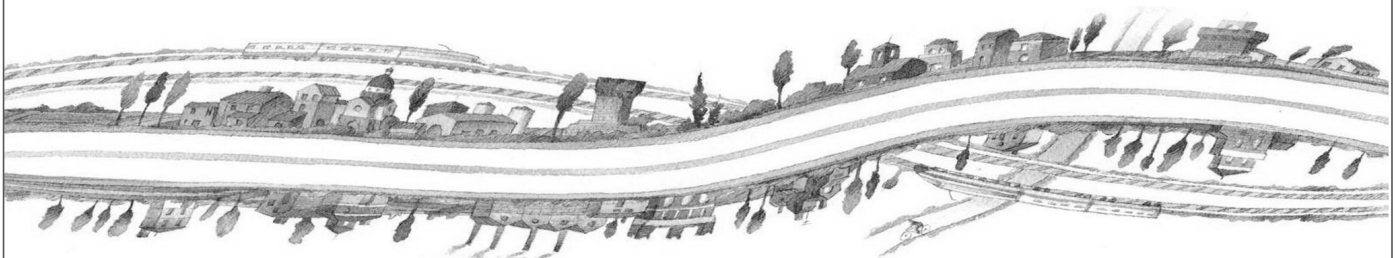
ASSE AUTOSTRADALE (COMPRESIVO DEGLI INTERVENTI LOCALI DI COLLEGAMENTO VIARIO AL SISTEMA AUTOSTRADALE)

PROGETTAZIONE STRADALE

VIABILITA' INTERFERITA

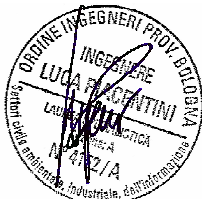
V44 - SOTTOVIA VIA IMPERIALE CAMURANA

RELAZIONE TECNICA DEL TRACCIATO



IL PROGETTISTA

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



RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

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



IL CONCESSIONARIO

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

G					
F					
E					
D					
C					
B					
A	17.04.2012	Emissione		Neri	Piacentini Salsi
REV.	DATA	DESCRIZIONE		REDAZIONE	CONTROLLO APPROVAZIONE

IDENTIFICAZIONE ELABORATO											DATA: MAGGIO 2012
NUM. Progr.	FASE	LOTTO	GRUPPO	CODICE OPERA WBS	TRATTO OPERA	AMBITO	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVO	REV.		SCALA: _
2033	PD	0	V04	VCS44	0	SD	RT	01	A		

INDICE

1.	GENERALITA'	3
2.	RIFERIMENTI	4
3.	CRITERI DI PROGETTAZIONE STRADALE	5
3.1.	SEZIONE STRADALE TIPO	5
3.2.	SMALTIMENTO ACQUE DI PIATTAFORMA	8
3.3.	VELOCITA' DI PROGETTO	10
4.	DESCRIZIONE STATO DI FATTO	11
5.	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	12
6.	GEOMETRIA DELL'ASSE STRADALE - ANDAMENTO PLANIMETRICO	13
6.1.	RETTIFILI	13
6.2.	CURVE CIRCOLARI	14
6.3.	PENDENZE TRASVERSALI NEI RETTIFILI E NELLE CURVE CIRCOLARI	15
6.4.	COMPATIBILITÀ TRA CURVE CIRCOLARI E RETTIFILI	17
6.5.	ALLARGAMENTO PER L'ISCRIZIONE LUNGO LE CURVE CIRCOLARI	17
6.6.	CURVE A RAGGIO VARIABILE	18
6.7.	PARAMETRO MASSIMO CLOTOIDI	20
6.8.	PENDENZA TRASVERSALE LUNGO LE CLOTOIDI	21
6.9.	VALORI MASSIMI DELLA SOVRAPENDENZA ΔI	22
6.10.	VALORI MINIMI DELLA SOVRAPENDENZA ΔI	22
6.11.	ROTATORIE	24
6.12.	VERIFICHE GEOMETRICHE E FUNZIONALI DELLA ROTATORIA	25
6.13.	VERIFICHE ANDAMENTO PLANIMETRICO	29
7.	VERIFICHE DI VISIBILITA'	33
7.1.	CRITERI PER L'ESECUZIONE DELLE VERIFICHE DI VISIBILITA'	33
7.2.	DISTANZA DI VISIBILITA' PER L'ARRESTO	33
8.	GEOMETRIA DELL'ASSE STRADALE - ANDAMENTO ALTIMETRICO	39
8.1.	CRITERI USATI PER LA COSTRUZIONE DEL PROFILO ALTIMETRICO	39
8.2.	ANDAMENTO ALTIMETRICO	41
8.3.	VERIFICHE ALTIMETRICHE	43
9.	DIAGRAMMA DI VELOCITA'	45



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

VIABILITA' INTERFERITA

V44 – SOTTOVIA VIA IMPERIALE CAMURANA

RELAZIONE TECNICA DEL TRACCIATO

10. COORDINAMENTO PLANOALTIMETRICO	46
---	-----------

1. GENERALITA'

Nel presente elaborato viene descritto nel dettaglio il nuovo asse stradale col quale, la strada comunale Imperiale, sottopasserà la Nuova Autostrada Regionale Cispadana.

Tale strada comunale interferisce con l'infrastruttura di progetto alla progressiva pk 64 + 342 km ed è situata nelle vicinanze del comune di Poggio Renatico, in provincia di Ferrara; è una viabilità che deve garantire continuità in prossimità dello svincolo di Ferrara Sud e della Strada Cispadana esistente. Nell'area di interferenza la autostrada di progetto è in rilevato rispetto al piano campagna circostante, tale collocazione altimetrica ha comportato la necessità di realizzare alcune opere d'arte quali:

- Sottovia d'attraversamento a sezione scatolare;
- Opere di sostegno del terreno mediante muri ad U e L.

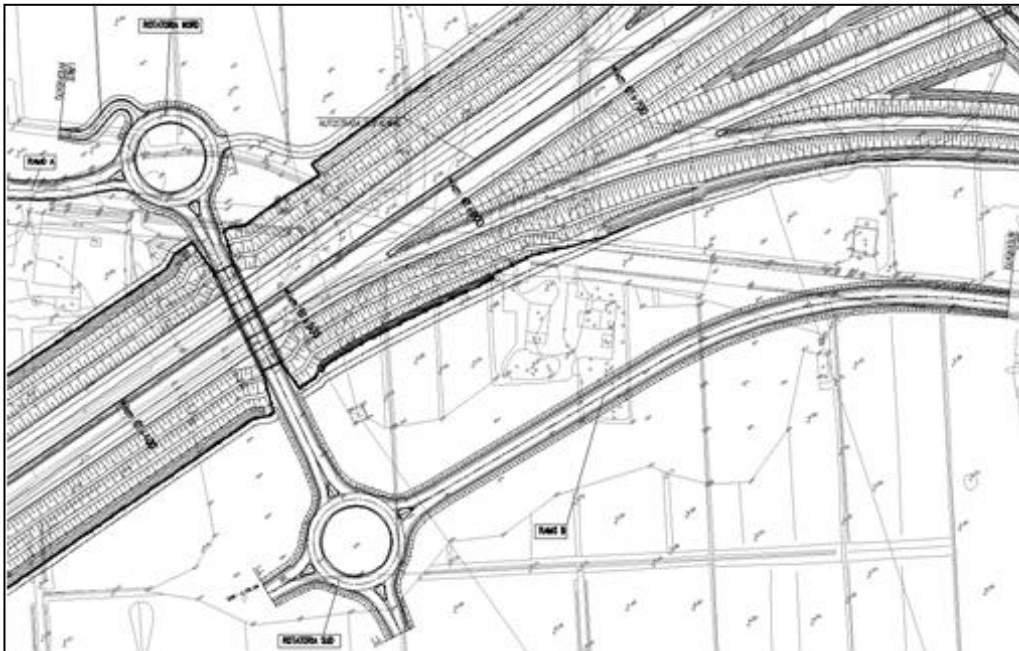


FIGURA 1.1 – SCHEMA PLANIMETRICO DELLA INTERFERENZA

2. RIFERIMENTI

Si riportano di seguito i riferimenti agli elaborati relativi ai criteri utilizzati nella progettazione della parte stradale dell'intervento in oggetto:

- " Elenco delle normative di riferimento" PD_0_000_00000_GE_KT_01_A;
- " Tabella materiali e classi di esposizione calcestruzzo" PD_0_000_00000_GE_TB_01_A;
- " Vita utile e classi d'uso delle opere" PD_0_000_00000_GE_KT_02_A.

3. CRITERI DI PROGETTAZIONE STRADALE

Il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ha emanato in data 5 novembre 2001 le “Norme funzionali geometriche per la costruzione delle strade” con le quali si sono definiti nuovi criteri per la definizione e la progettazione delle caratteristiche plano-altimetriche delle strade.

Lo stesso Ministero delle Infrastruttura e dei Trasporti ha emanato in data 22 aprile 2004 la “Modifica del decreto 5 novembre 2001, n. 6792, recante «Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade»” con la quale viene dichiarata la applicabilità del DM 05/11/2001 solo alle strade di nuova costruzione. Ne risulta quindi che nel caso di adeguamento di strade esistenti, come nel caso in esame, la normativa del 2001 risulta solamente di riferimento purché venga dimostrato che la nuova viabilità in progetto produca un miglioramento funzionale della circolazione nonché un innalzamento del livello di sicurezza.

3.1. SEZIONE STRADALE TIPO

Con riferimento a quanto previsto dalla classificazione funzionale delle strade (D.M. 5/11/2001), la viabilità in oggetto è classificata come appartenente alla rete locale, trattandosi di una strada extraurbana secondaria di tipo C2. Lo stesso Decreto stabilisce quale sia l’organizzazione della piattaforma stradale e dei suoi margini, intendendo che tale configurazione sia da intendersi come la minima prevista dal decreto, e da verificare in funzione di esigenze normative legate ad altri settori. Gli elementi compostivi della sezione trasversale sono descritti con riferimento alla seguente figura di cui al Decreto 5/11/2001.

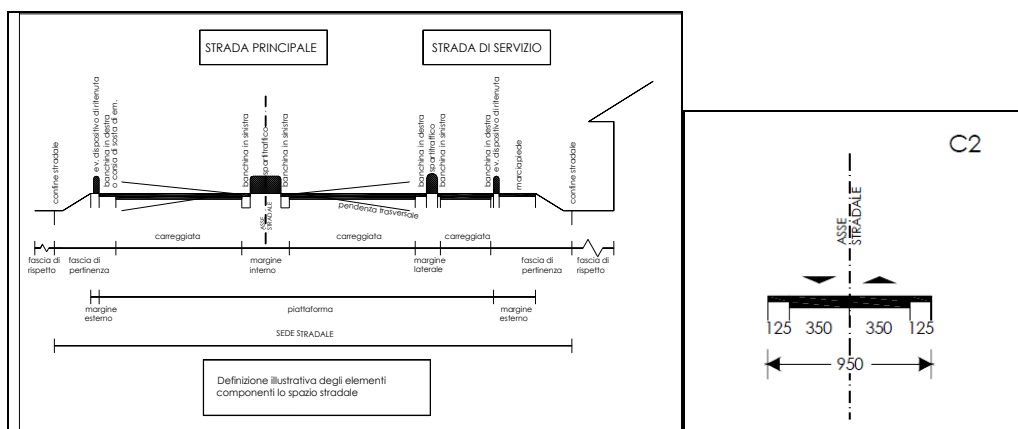


FIGURA 3.1.1 – DEFINIZIONE ILLUSTRATIVA DEGLI ELEMENTI COMPONENTI LO SPAZIO STRADALE

La piattaforma stradale adottata risulta avere una sezione minima pari a 9.50 m, così composta:

- una carreggiata a doppio senso di marcia, composta da n. 1 corsia per senso di marcia di larghezza pari a 3.50m;
- una banchina in destra per senso di marcia pari a 1.25m;

Le scarpate dei rilevati hanno una pendenza 3/2.

La sezione tipo stradale all'interno della struttura scatolare è rappresentata nella seguente figura.

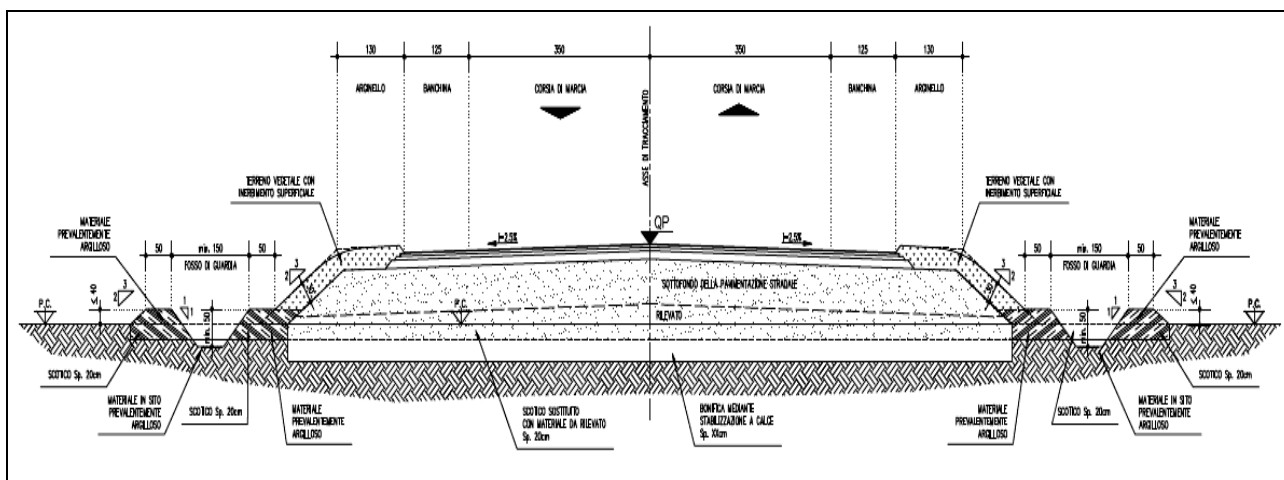


FIGURA 3.1.2 – SEZIONE TIPO VIA IMPERIALE CAMURANA DI NUOVA PROGETTAZIONE

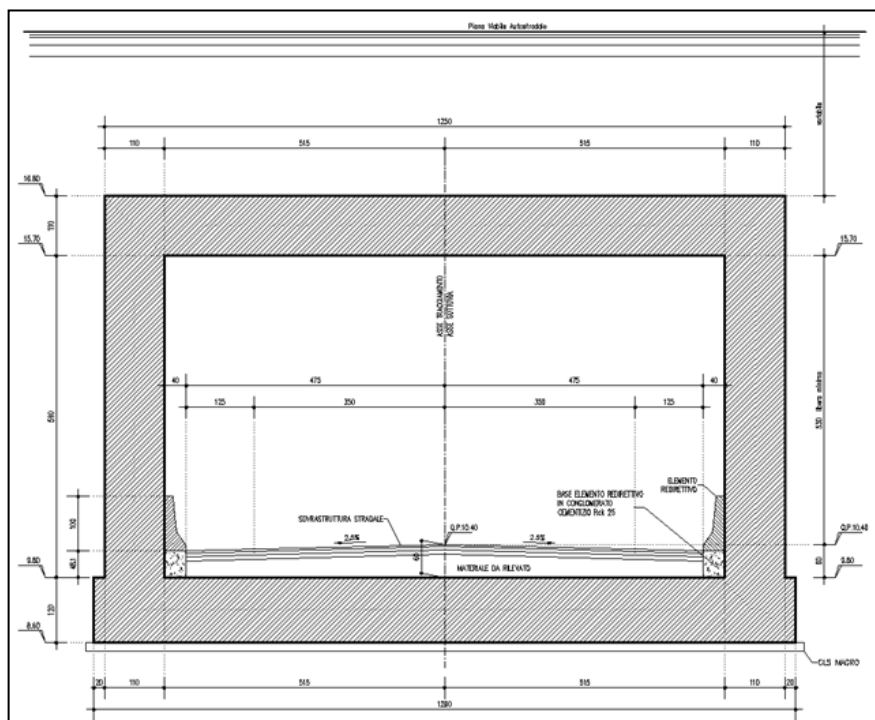


FIGURA 3.1.3 – SEZIONE TRASVERSALE DEL SOTTOVIA

Il franco minimo in elevazione assunto per il sottovia è di 5,30 m ossia di poco superiore a quello imposto dalla normativa stradale e pari a 5,00m.

L'altezza interna netta dello scatolare è stata valutata in modo da permettere il rispetto dei seguenti tre punti:

- avere in ogni punto dello scatolare almeno un'altezza utile pari al franco minimo di 5.30 m nel punto più alto della carreggiata (tenuto conto delle pendenze trasversali della strada);
- avere in ogni punto della carreggiata nel tratto interno allo scatolare un'altezza interna non minore di 50 cm per ospitare il pacchetto stradale e la canaletta grigliata di scolo nei tratti terminali;
- in modo da permettere il posizionamento delle tubazioni di raccolta acque che permettano il deflusso delle acque meteoriche dal punto di minimo del profilo stradale sino alle vasche di raccolta dell'impianto di sollevamento.

La pavimentazione del tratto di strada interno al sottovia di progetto sarà composto da:

- Strato di usura in conglomerato bituminoso a maglia chiusa– Spessore 4 cm ;
- Strato di collegamento (Binder) in conglomerato bituminoso a maglia aperta – Spessore 5 cm ;
- Strato di base in misto cementato – Spessore 11 cm.

La pavimentazione del tratto di strada esterno al sottovia di progetto avrà uno spessore complessivo di 80 cm e sarà composto da:

- Strato di usura in conglomerato bituminoso a maglia chiusa– Spessore 4 cm ;
- Strato di collegamento (Binder) in conglomerato bituminoso a maglia aperta – Spessore 5 cm ;
- Strato di base in misto cementato – Spessore 11 cm.
- Sottofondo della pavimentazione in misto stabilizzato – Spessore 60 cm;

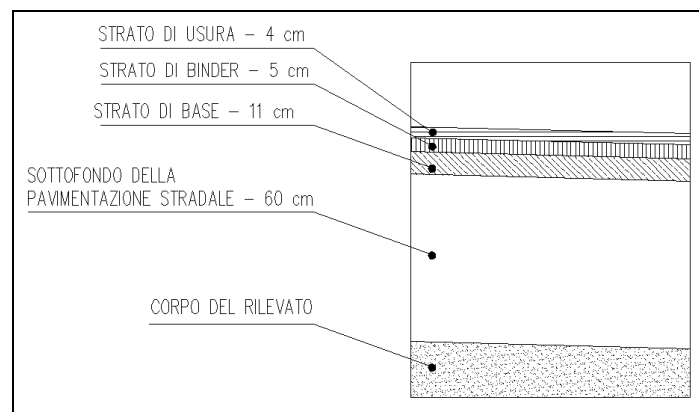


FIGURA 3.1.4 – PARTICOLARE PACCHETTO STRADALE

Lo spessore dello scotico è di 20 cm. Per lo spessore dello strato di bonifica si rimanda agli appositi elaborati di progetto specializzati.

3.2. SMALTIMENTO ACQUE DI PIATTAFORMA

Lo smaltimento nei tratti in rilevato delle acque defluenti dalla sede stradale, avverrà mediante la raccolta ai margini della piattaforma stradale, sulla banchina, a ridosso del ciglio erboso.

A determinati intervalli l'elemento marginale sarà interrotto e, tramite l'utilizzo di embrici in CA, le acque saranno convogliate all'interno dei fossi di guardia posti ai piedi del rilevato.

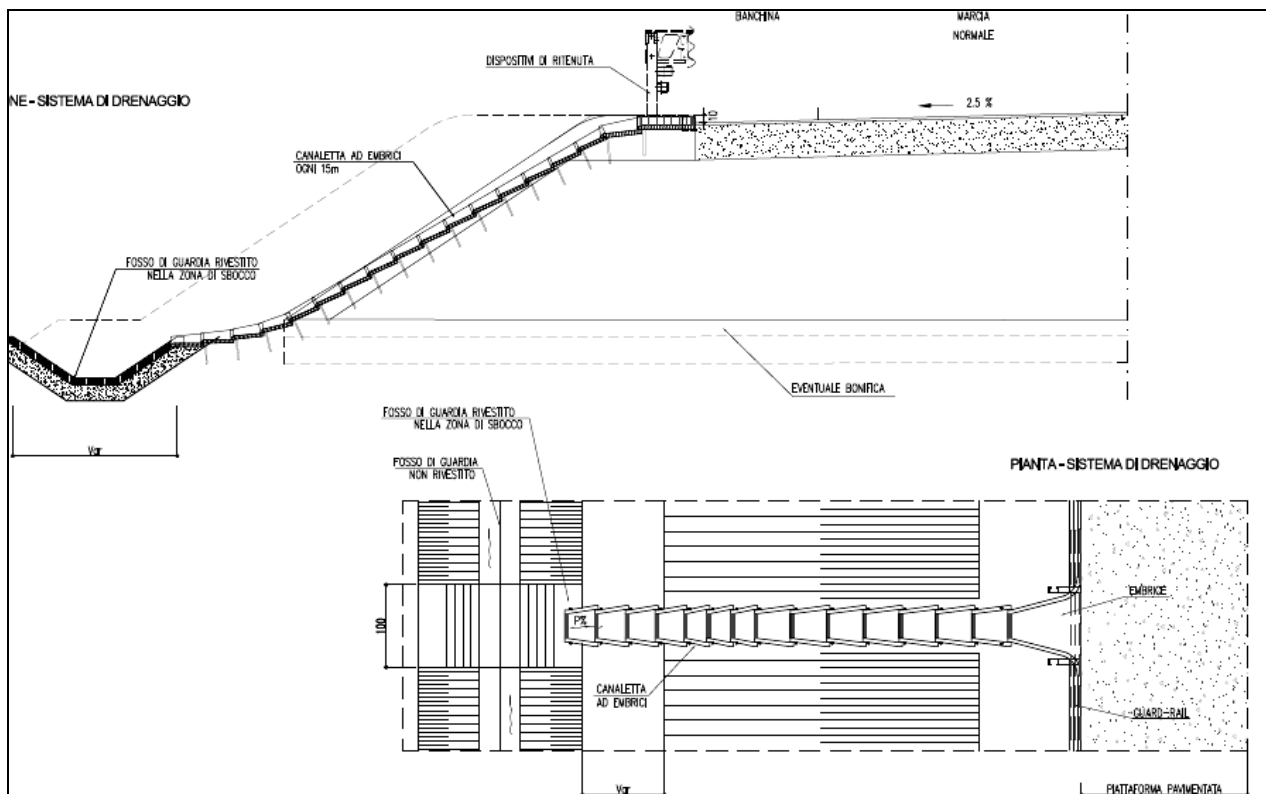


FIGURA 3.2.1 – PARTICOLARE CANALETTE AD EMBRICE

Tali fossi di guardia avranno delle dimensioni tali da garantire oltre al trasporto la laminazione dei picchi di piena. Saranno in terra delle dimensioni minime in sommità di 1,50 m. Le sponde avranno una pendenza di 1 su 1. La larghezza del fondo minima sarà pari a 0.50 m. Tale dimensione evita problemi di riduzione delle sezione idraulica dovuti ad ostruzioni che si possono creare a causa dei depositi, ed evita la necessità di una continua manutenzione. L'altezza minima sarà di 0.50 m, e comunque variabile in ragione dell'andamento del territorio.

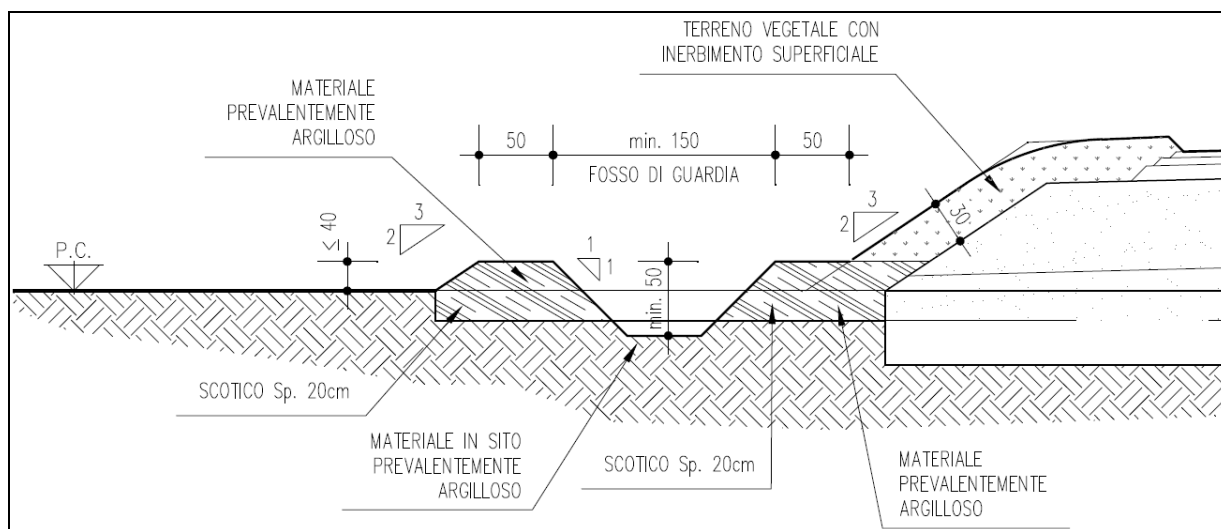


FIGURA 3.2.2 – PARTICOLARE FOSSO DI GUARDIA

Nei tratti in trincea la raccolta avviene mediante canalette poste alla base degli elementi ridirettivi in conglomerato cementizio lungo le quali sono previsti pozzetti di raccolta con caditoie carrabili in ghisa che convogliano le acque nelle sottostanti tubazioni di scolo. Le acque raccolte dalla rete di scolo vengono convogliate all'impianto di sollevamento; sono state previste delle pompe per sollevare le acque meteoriche fino a piano campagna. Queste acque verranno poi immesse nel fosso ricettore al lato della strada, dopo aver effettuato i trattamenti necessari. Per informazioni più dettagliate si rimanda alla relazione idraulica.

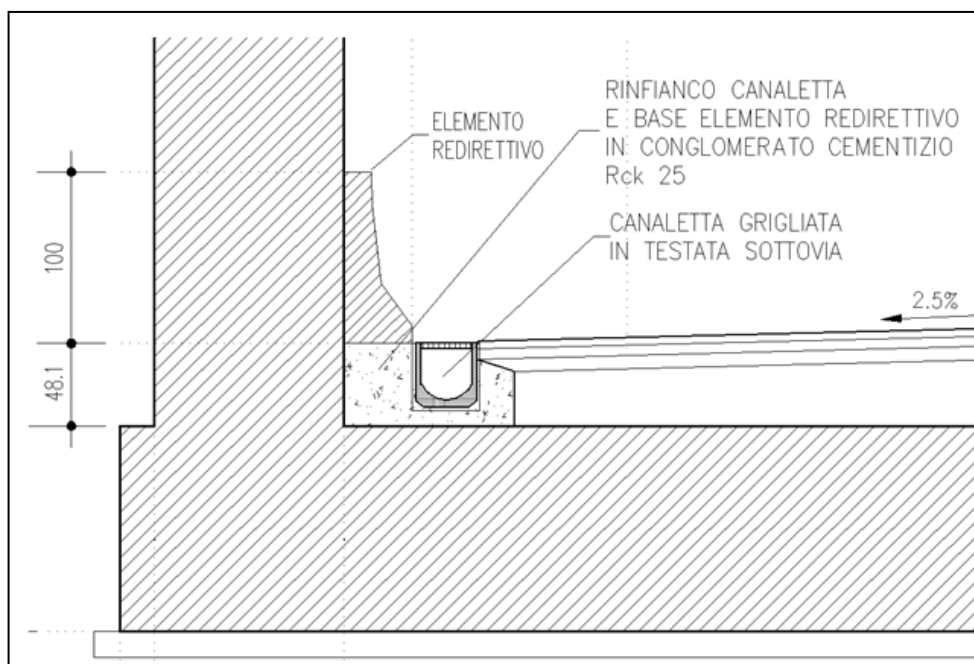


FIGURA 3.2.3 – PARTICOLARE POSIZIONAMENTO CANALETTA INTERNA AL SOTTOVIA

3.3. VELOCITA' DI PROGETTO

Le Norme Tecniche per la progettazione stradale DM 11/05/2001 “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade” fissano come criterio fondamentale per la definizione planimetrica delle strade di nuova costruzione la definizione del campo di velocità di progetto all'interno del quale deve variare la velocità di progetto dei vari elementi (rettifili, curve) che compongono il tracciato. La variazione della velocità di progetto tra un elemento, e gli elementi adiacenti è fissata da regole precise le quali devono essere rispettate nel definire il diagramma di velocità. Fondamentale è la definizione della velocità di progetto massima, che è il valore di velocità da considerarsi su tutti gli elementi più favorevoli del tracciato.

Nel fissare la velocità di progetto massima per i diversi tipi di strade la Norma fa preciso e ripetuto riferimento alla velocità massima prevista dal Codice della Strada per quel tipo di strada; più precisamente la velocità massima di progetto per ogni tipo di strada pari al valore del limite di velocità previsto dal Codice della Strada su quel tipo di strada, aumentato di 10 km/h (si veda la tabella 3.4.a della Normativa).

Generalmente la localizzazione e il contesto in cui le varianti alle strade esistenti si inseriscono, non permettono l'adozione di velocità di progetto elevate, in quanto le stesse comporterebbero varianti molto lunghe; pertanto si è ritenuto opportuno adottare limiti di velocità.

La bozza delle "Norme per l'adeguamento delle strade esistenti" offre infatti la possibilità di introdurre e progettare per una velocità inferiore rispetto a quella massima prevista per la categoria a cui la strada appartiene, quando il progetto riguarda l'adeguamento di strade esistenti o varianti di sviluppo modesto.

Per la viabilità oggetto della presente progettazione, viene assunta una sezione tipo “C2” definita dalla Normativa vigente la quale associa a tale tipologia un intervallo di velocità di progetto pari a 60-100 km/h. L'intervento in esame interessa la viabilità esistente per un tratto limitato e quindi, in base a quanto riportato al paragrafo precedente, si prevede di progettare la variante con velocità massima di progetto variabile in funzione del tracciato. In particolare, l'intervento si compone di un ramo (denominato A) che collegherà via Imperiale nord con la nuova rotatoria nord, di un tratto rettilineo attraverso lo scatolare del sottovia che terminerà nella rotatoria sud ed infine del ramo (B) che attraverso un rettilineo seguito da una curva si ricongiungerà alla viabilità esistente. Per un riferimento dettagliato della variazione delle velocità di progetto si rimanda al relativo elaborato, richiamato in Figura 7.2.2.

4. DESCRIZIONE STATO DI FATTO

Le opere in progetto per la risistemazione della viabilità a seguito della costruzione della Nuova Autostrada Cispadana, si collocano nelle vicinanze del comune di Poggio Renatico, a ridosso della nuova infrastruttura autostradale.

La strada esistente presenta un tracciato rettilineo in direzione da nord-ovest verso sud-est; la viabilità si discosta dall'esistente permettendo il collegamento alle proprietà presenti. Il terreno nella zona dei lavori si presenta pianeggiante e non evidenzia particolari vincoli se non quelli relativi alla presenza di alcuni fabbricati ai quali deve essere garantito l'accesso.

La viabilità preesistente alle opere in corso di progettazione è caratterizzata da sezioni con larghezza della sede pavimentata di 7.00 metri.



FIGURA 4 .1 – VIA IMPERIALE ALLO STATO DI FATTO

5. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'intervento di progetto consiste nella deviazione dell'attuale via Imperiale Camurana, per mantenere il collegamento tra il territorio a sud ed il territorio a nord della Nuova Autostrada Regionale Cispadana.

Il nuovo asse è stato progettato in parte attraverso la sovrapposizione all'attuale sede stradale, prevedendo delle strade laterali per garantire gli accessi alle proprietà private.

Nella definizione dell'andamento plano-altimetrico si è inoltre garantita la piena compatibilità col tracciato previsto per il nuovo collegamento autostradale.

Il tracciato, disposto lungo la direttrice che va da nord-ovest verso sud-est, prende origine dalla strada esistente. Più nel dettaglio, Via Imperiale nord si ricollega all'intervento di progetto con il ramo A, necessario al corretto ingresso nella seguente rotonda nord; quindi il sottopasso alla Nuova Autostrada Cispadana avviene in rettilineo. Superato il rilevato autostradale, il tracciato prevede una rotonda dalla quale ha origine il ramo B, composto da rettilineo e curva ad ampio raggio, funzionale al ricongiungimento con la viabilità esistente.

6. GEOMETRIA DELL'ASSE STRADALE - ANDAMENTO PLANIMETRICO

Trattandosi di una strada locale extraurbana lo studio dell'asse planimetrico prevede un unico asse posizionato sulla mezzieria della carreggiata, secondo la tipologia "a" prevista nella seguente figura di cui al D.M. 5/11/2001.

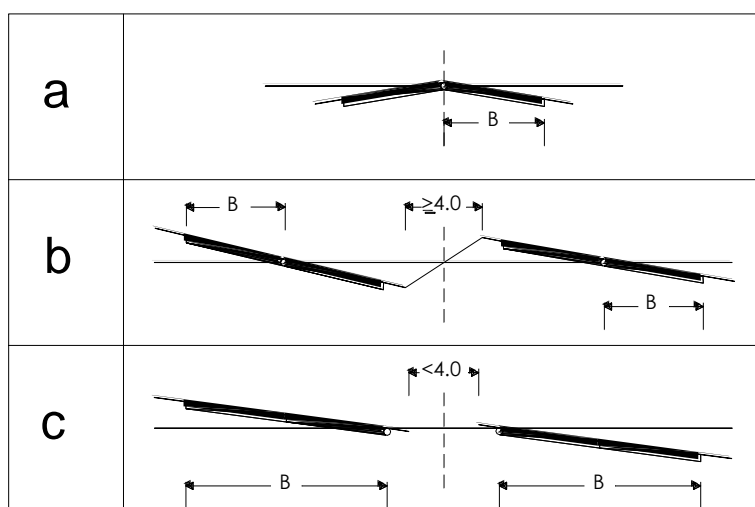


FIGURA 6.1 – ROTAZIONE DELLA CARREGGIATA RISPETTO ALL'ASSE

L'andamento planimetrico della strada comunale Imperiale, nell'area di intervento, è composito. Il tracciato di progetto presenta una lunghezza del ramo A di 85.35 m, del ramo B di 334.32 m e del collegamento tra le due rotatorie di 164.52 m.

6.1. RETTIFILI

Per questi elementi compositivi dell'asse planimetrico, il D.M. 5/11/2001 fissa dei valori limite, superiore e inferiore, in funzione della velocità massima di progetto.

Per il valore massimo tale adozione è dovuta alle esigenze di evitare il superamento delle velocità da Codice della Strada, la monotonia, la difficile valutazione delle distanze e per ridurre l'abbagliamento nella guida notturna; tale valore si calcola con la formula:

$$L_r = 22 \times V_{p \text{ Max}} \text{ [m]}$$

che per tipologia della viabilità in oggetto, classificata come C2 con $V_{p,max} = 70$ km/h, risulta pari a 1.540 m. Tuttavia, vista la presenza delle rotonde, come già detto, la velocità di progetto è variabile.

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

TABELLA 6.1 -1 – LUNGHEZZA MINIMA DEI RETTIFI IN FUNZIONE DELLA VELOCITA' DI PROGETTO

6.2. CURVE CIRCOLARI

Anche per le curve circolari la normativa impone dei valori minimi per permettere all'utente la percezione dell'elemento curvilineo: infatti il decreto recita che: *una curva circolare, per essere correttamente percepita, deve avere uno sviluppo corrispondente ad un tempo di percorrenza di almeno 2,5 secondi valutato con riferimento alla velocità di progetto della curva.*

Nessuna curva lungo il tracciato presenta valori di lunghezza inferiori ai minimi sopra esposti.

Inoltre tra due curve successive i rapporti tra i raggi di curvatura R1 ed R2 di due curve successive devono collocarsi nella zona "buona" di cui all'abaco successivo:

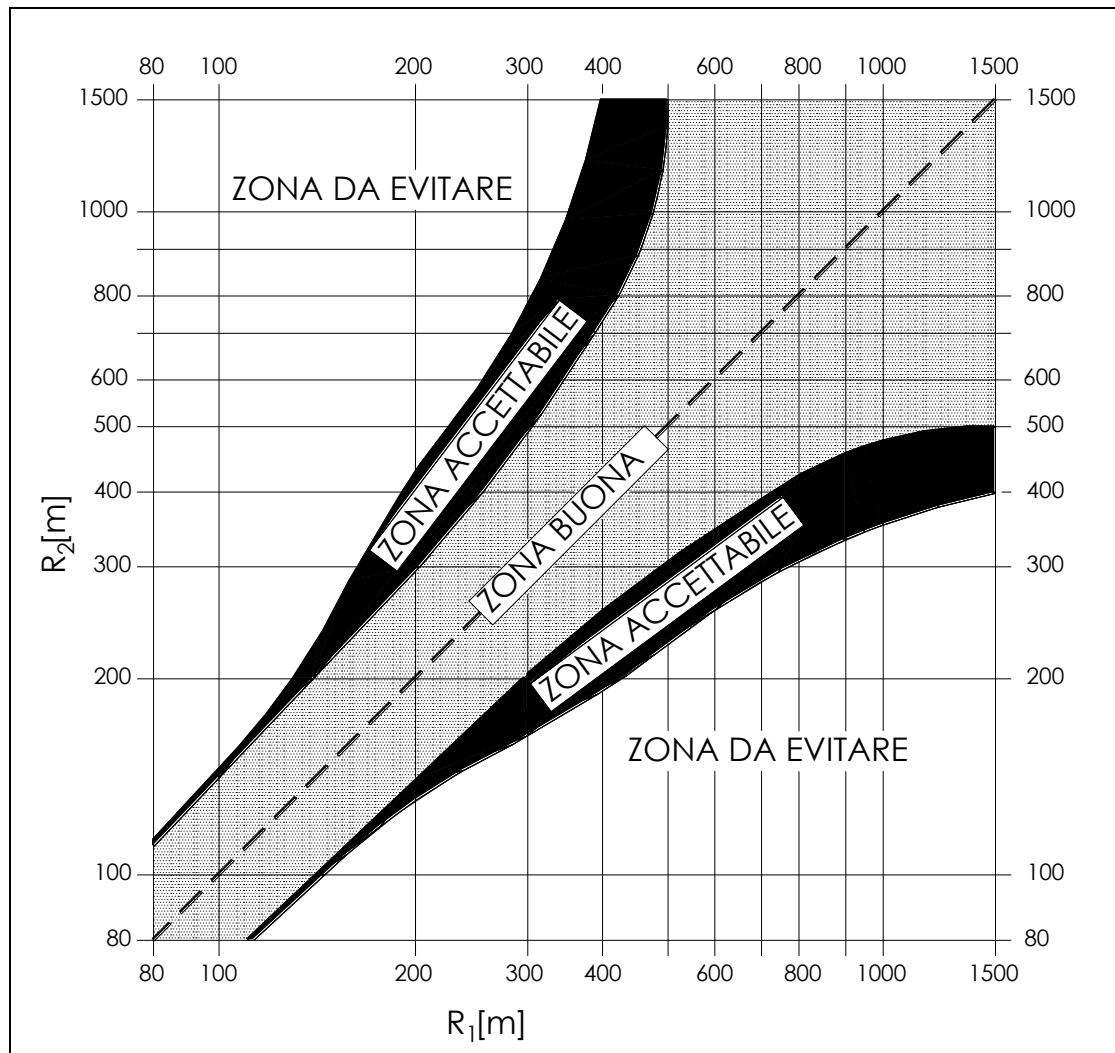


FIGURA 6.2.1 – ABACO RAPPORTI TRA RAGGI DI CURVATURA SUCCESSIVI

Tutte le curve del tracciato risultano tra loro coerenti con tale impostazione.

6.3. PENDENZE TRASVERSALI NEI RETTIFI E NELLE CURVE CIRCOLARI

La pendenza minima trasversale in rettilo è pari al valore 2,5% e le carreggiate sono ciascuna orientata con il ciglio più depresso verso l'esterno.

In curva circolare invece la carreggiata è inclinata verso l'interno e il valore di pendenza trasversale è mantenuto costante su tutta la lunghezza dell'arco di cerchio.

La relazione matematica che regola il valore di pendenza trasversale alla velocità di progetto e al raggio di curvatura della curva è espressa dalla seguente formula:

$$\frac{V_p^2}{R \times 127} = q + f_t$$

dove:

V_p = velocità di progetto della curva [km/h];

R = raggio della curva [m];

q = pendenza longitudinale /100;

f_t = quota parte del coeff. di aderenza impegnato trasversalmente.

La quota limite del coefficiente di aderenza impegnabile trasversalmente $f_{t \max}$, valgono i valori della normativa di seguito riportati. Tali valori tengono conto, per ragioni di sicurezza, che una quota parte dell'aderenza possa essere impegnata anche longitudinalmente in curva.

Velocità km/h	25	40	60	80	100	120	140
aderenza trasv. max imp. $f_{t \max}$ per strade tipo A, B, C, F extraurbane, e relative strade di servizio	-	0,21	0,17	0,13	0,11	0,10	0,09
aderenza trasv. max imp. $f_t \max$ per strade tipo D, E, F urbane, e relative strade di servizio	0,22	0,21	0,20	0,16	-	-	-

TABELLA 6.3.1– COEFFICIENTI DI ADERENZA TRASVERSALE IN FUNZIONE DELLA VELOCITA'

Per velocità intermedie fra quelle indicate si provvede all'interpolazione lineare.

Assegnata la velocità di progetto esiste un valore di raggio minimo che corrisponde al valore calcolato con la formula precedente fissando la velocità al valore inferiore dell'intervallo e imponendo la pendenza trasversale massima. Se il raggio di curvatura è maggiore del valore $R_{2,5}$ si assume la pendenza trasversale pari al valore 2,5% come se non si fosse in curva. Oltre un certo raggio di curvatura si può mantenere la pendenza trasversale in rettilineo essendo comunque garantito l'equilibrio dinamico del veicolo: tale valore risulta pari a $R=5.250$ m.

Per valori intermedi del raggio R inferiori a $R_{2,5}$ si fa riferimento alla figura seguente:

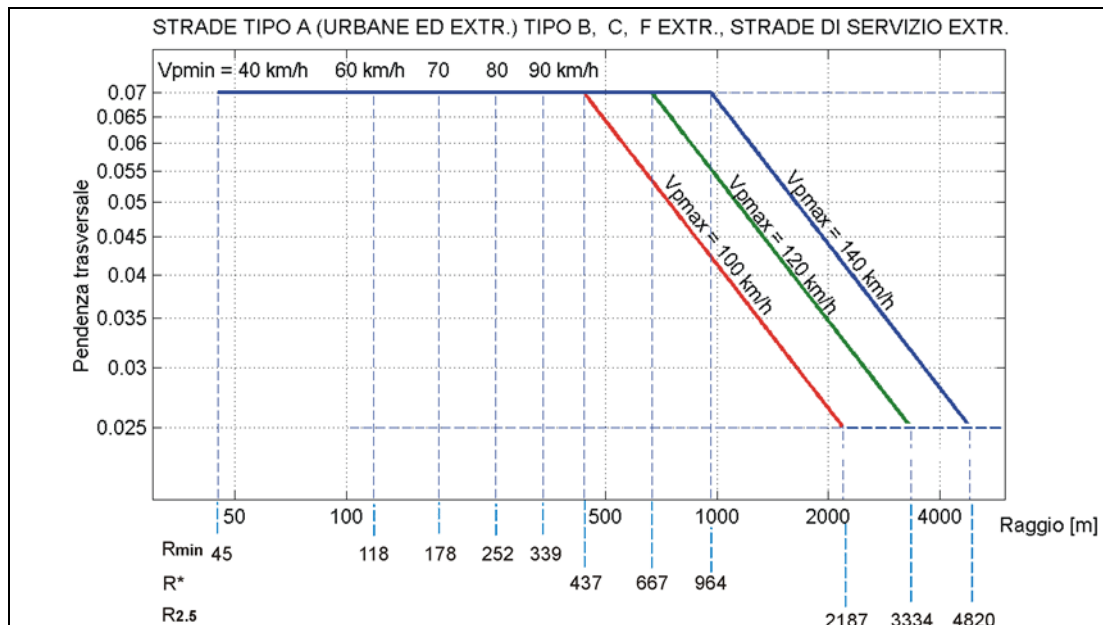


FIGURA 6.3.1 – RAPPORTO RAGGI DI CURVATURA, VELOCITÀ DI PROGETTO, PENDENZA TRASVERSALE

6.4. COMPATIBILITÀ TRA CURVE CIRCOLARI E RETTIFILI

La successione geometrica tra rettifili e curve circolari è stata impostata in modo tale che tra un rettilo, di lunghezza L_r , ed il raggio R più piccolo fra quelli delle due curve collegate al rettilo stesso, mediante l'interposizione di una curva a raggio variabile, è rispettata la relazione:

$$R > L_r \text{ per } L_r < 300 \text{ m}$$

$$R \geq L_r \text{ per } L_r \geq 300 \text{ m}$$

6.5. ALLARGAMENTO PER L'ISCRIZIONE LUNGO LE CURVE CIRCOLARI

Allo scopo di consentire la sicura iscrizione dei veicoli nei tratti curvilinei del tracciato, conservando i necessari franchi fra la sagoma limite dei veicoli ed i margini delle corsie, è necessario che nelle curve circolari ciascuna corsia sia allargata di una quantità E , data dalla relazione:

$$E = K / R \quad [\text{m}]$$

dove:

$K = 45$;

R = raggio esterno (in m) della corsia.

Se l'allargamento E , calcolato con la relazione precedente, è inferiore a 20 cm la corsia conserva la larghezza del rettilineo. Inoltre, il valore così determinato potrà essere opportunamente ridotto, al massimo fino alla metà, qualora si ritenga poco probabile l'incrocio in curva di due veicoli appartenenti ai seguenti tipi: autobus ed autocarri di grosse dimensioni, autotreni ed autoarticolati. Nel caso in esame sono stati necessari allargamenti dei cigli, come riportato in Figura 8.2.2.

6.6. CURVE A RAGGIO VARIABILE

Le curve a raggio variabile sono inserite tra due elementi a curvatura costante (tra curve circolari, ovvero tra rettilineo e curva circolare) lungo le quali generalmente si ottiene la graduale modifica della piattaforma stradale, cioè della pendenza trasversale, e, se necessario, della larghezza trasversale della piattaforma.

Le curve impiegate a tali scopi sono denominate clotoidi e si rappresentano nella forma:

$$r \times s = A^2$$

dove:

r = raggio di curvatura nel punto P generico

s = ascissa curvilinea nel punto P generico

A = parametro di scala

Graficamente i simboli necessari alla loro definizione sono i seguenti:

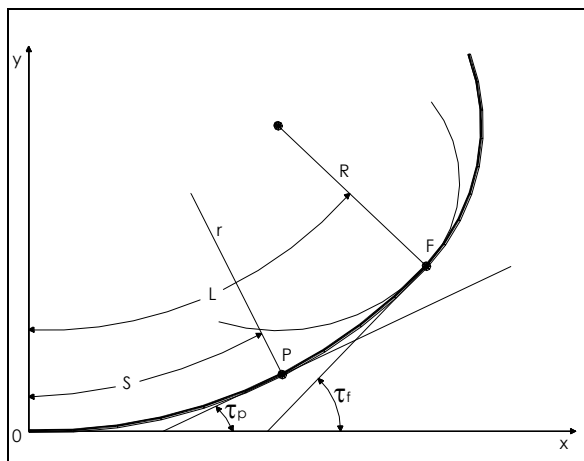


FIGURA 6.6.1 – ESEMPIO DI CURVA CLOTOIDE

Le motivazioni legate all'inserimento lungo il tracciato di tali elementi a curvatura costante sono quelle di garantire: a) una variazione di accelerazione centrifuga non compensata (contraccollo) contenuta entro valori accettabili; b) una limitazione della pendenza (o sovrappendenza) longitudinale delle linee di estremità della piattaforma; c) la percezione ottica corretta dell'andamento del tracciato.

Da quanto sopra si evince che per valori del raggio di curvatura superiori a R' non sussistono più le condizioni necessarie all'inserimento delle curve a raggio variabile, in quanto nessuna variazione della pendenza trasversale risulta necessaria, mantenendo la sagoma stradale le stesse geometrie di quelle proprie del rettilineo e l'accelerazione centrifuga non compensata assume valori estremamente bassi. Sulla base di quanto fatto e approvato nel progetto definitivo si è ritenuto pertanto che per valori di raggio di curvatura superiori a R' l'inserimento di curve di transizione si possa omettere.

I criteri di dimensionamento del parametro A delle curve di transizione a curvatura variabile sono:

critero della limitazione del contraccollo, che con le opportune semplificazioni e assunzioni assume la forma pratica pari a

$$A \geq 0,021 \times V^2$$

critero della limitazione della sovrappendenza longitudinale delle linee di estremità della carreggiata che assume le formule:

nel caso in cui il raggio iniziale sia di valore infinito (rettilineo o punto di flesso), il parametro deve verificare la seguente disuguaglianza:

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

nel caso in cui anche il raggio iniziale sia di valore finito (continuità) il parametro deve verificare la seguente disuguaglianza:

$$A \geq A_{\min} = \sqrt{\frac{B_i (q_f - q_i)}{\left(\frac{1}{R_i} - \frac{1}{R_f}\right) \times \frac{\Delta i_{\max}}{100}}}$$

critero ottico:

$$A \geq R/3 \quad (R_i/3 \text{ in caso di continuità})$$

Inoltre, per garantire la percezione dell'arco di cerchio alla fine della clotoide, deve essere:

$$A \leq R$$

L'inserimento delle curve a raggio variabile deve soddisfare oltre ai criteri di dimensionamento della singola curva sopra esposti, anche le regole dettate dalla successione di più elementi vicini a formare casi particolari come la transizione (curva circolare con clotoidi con parametri diversi ai due lati), il flesso (curve circolari di verso opposto senza interposizione di un rettilo), la continuità (successione di curve circolari di verso uguale senza rettili intermedi) e il raccordo tra due cerchi secanti mediante cerchio ausiliario.

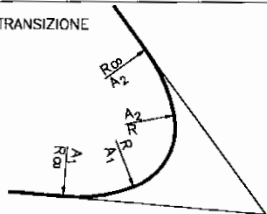
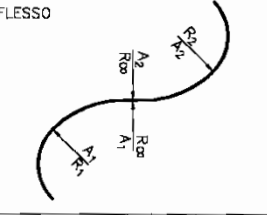
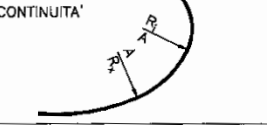
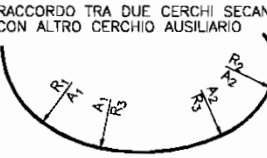
TIPOLOGIA	LIMITI
	$A_1 \geq A_{min}$ $A_2 \geq A_{min}$ $\frac{R}{3} \leq A_1 \leq R$ $\frac{R}{3} \leq A_2 \leq R$ $\frac{2}{3} \leq \frac{A_1}{A_2} \leq \frac{3}{2}$
	$R_2 \leq R_1$ $A_1 \geq A_{min}$ $A_2 \geq A_{min}$ FLESSO ASIMMETRICO $A_1 \neq A_2$ $\frac{R_1}{3} \leq A_1 \leq R_1$ $\frac{R_2}{3} \leq A_2 \leq R_2$ $\frac{2}{3} \leq \frac{A_1}{A_2} \leq \frac{3}{2}$ FLESSO SIMMETRICO $A_1 = A_2 = A$ $\frac{R_1}{3} \leq A \leq R_2$
	$R_x \leq R_1$ R_x all'interno di R_1 ma non concentrico $A_{min} \leq A$ $\frac{R_1}{3} \leq A \leq R_x$
	$A_1 \geq A_{min}$ $A_2 \geq A_{min}$ $\frac{R_3}{3} \leq A_1 \leq R_1$ $\frac{R_3}{3} \leq A_2 \leq R_2$ $\frac{2}{3} \leq \frac{A_1}{A_2} \leq \frac{3}{2}$

FIGURA 6.6.2 – TABELLA INSERIMENTI DI CURVE A RAGGIO VARIABILE

6.7. PARAMETRO MASSIMO CLOTOIDI

Le clotoidi inserite nei tracciati, sono state progettate secondo parametri di scala A non superiori al valore massimo Amax necessario per garantire la percezione dell'arco di cerchio alla fine della clotoide, ovvero:

$$A \leq A_{max} = R$$

dove R [m] è il raggio della curva che si connette all'arco di clotoide di parametro A [m].

6.8. PENDENZA TRASVERSALE LUNGO LE CLOTOIDI

Lungo le clotoidi, inserite fra due elementi di tracciato a curvatura costante, si realizza il graduale passaggio della pendenza trasversale dal valore proprio di un elemento a quello relativo al successivo. Questo passaggio si ottiene facendo ruotare la carreggiata stradale, o parte di essa, intorno ad un asse.

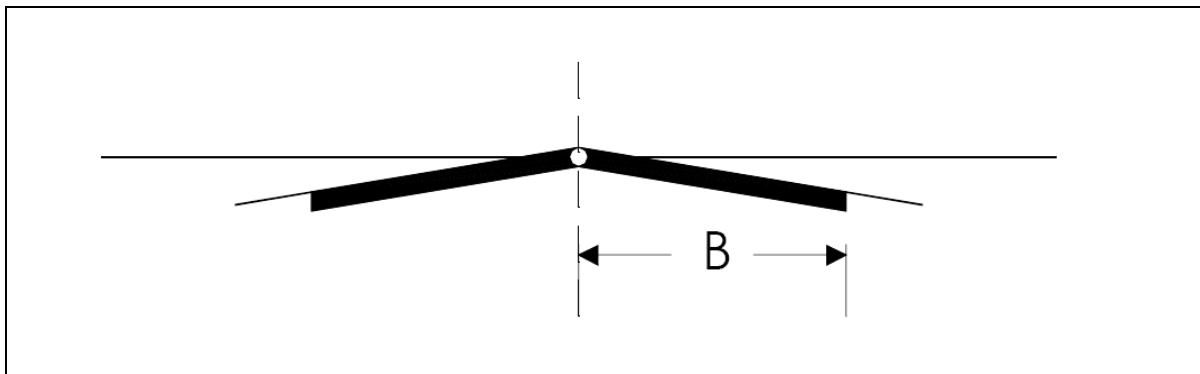


FIGURA 6.8.1 - PENDENZA TRASVERSALE LUNGO LE CLOTOIDI

Per effetto della rotazione dei cigli, lungo le clotoidi si genera una sovrappendenza Δi nelle linee di estremità della carreggiata rispetto alla pendenza dell'asse di rotazione. Tale sovrappendenza è pari a :

$$\Delta i = B_i \cdot (|q_{il}| + |q_{fl}|) / L \quad [\%]$$

dove:

B_i = distanza fra l'asse di rotazione ed il ciglio della carreggiata nella sezione iniziale della clotoide [m];

$|q_{il}|$ = valore assoluto della pendenza trasversale all'inizio dell'arco di clotoide [%];

$|q_{fl}|$ = valore assoluto della pendenza trasversale alla fine dell'arco di clotoide [%];

L = lunghezza dell'arco di clotoide [m].

Il valore della sovrappendenza Δi deve essere contenuto nei limiti massimi e minimi prescritti di cui di seguito.

6.9. VALORI MASSIMI DELLA SOVRAPENDENZA Δi

Per ragioni dinamiche (cioè per limitare la velocità di rotazione trasversale dei veicoli – velocità di rollio) la sovrappendenza longitudinale Δi [%] delle estremità della carreggiata (esclusi gli eventuali allargamenti in curva) non può superare il valore massimo che si calcola con la seguente espressione.

$$\Delta i_{\max} = \frac{dq}{dt} \times \frac{B_i}{v} \times 100 \cong 18 \times \frac{B_i}{V} \quad [\%]$$

dove:

dq/dt = variazione della pendenza trasversale nel tempo pari a 0,05 rad. s-1;

B_i = distanza (in m) fra l'asse di rotazione e l'estremità della carreggiata all'inizio della curva a raggio variabile;

V = velocità di progetto [km/h];

v = velocità di progetto [m/s].

6.10. VALORI MINIMI DELLA SOVRAPENDENZA Δi

Quando lungo una curva a raggio variabile la pendenza trasversale della carreggiata cambia segno, per esempio lungo una clotoide di flesso e nel passaggio dal rettilineo alla curva circolare, durante una certa fase della rotazione la pendenza trasversale è inferiore a quella minima del 2,5% necessaria per il deflusso dell'acqua. In questi casi, allo scopo di ridurre al minimo la lunghezza del tratto di strada in cui può aversi ristagno di acqua, è necessario che la pendenza longitudinale Δi dell'estremità che si solleva sia non inferiore ad un valore Δi_{\min} [%] dato da:

$$\Delta i_{\min} = 0,1 \times B_i \quad [\%]$$

Se pertanto la pendenza Δi è inferiore a Δi_{\min} , è necessario spezzare in due parti il profilo longitudinale di quella estremità della carreggiata che è esterna alla curva, realizzando un primo tratto con pendenza maggiore o uguale a Δi_{\min} , fino a quando la pendenza trasversale della via ha raggiunto il 2,5%; la pendenza risultante per il tratto successivo potrà anche essere inferiore a Δi_{\min} .

I vari casi che possono presentarsi sono riassunti nella figura seguente, dove sono indicate le sagome della carreggiata nelle sezioni caratteristiche ed i profili delle estremità riferiti a quello dell'asse.

TRANSIZIONE	$\Delta i \geq \Delta i_{\min}$	
	$\Delta i < \Delta i_{\min}$	
FLESSO	$\Delta i \geq \Delta i_{\min}$	
	$\Delta i < \Delta i_{\min}$	
CONTINUITA'		

FIGURA 6.10.1 - VALORI MINIMI DI SOPRAPENDENZA

6.11. ROTATORIE

Asse stradale di categoria C2 - Rotatoria Sud:

Due corsie, 2 x 3.00 m	→	6.00 m
Banchina esterna pavimentata, 2 x 1.00 m	→	2.00 m
Larghezza complessiva pavimentata	→	8.00 m
Pendenza longitudinale	→	0.00 %
Pendenza trasversale verso l'esterno della rotatoria	→	7.00 %
Raggio esterno rotatoria	→	24.50 m
Larghezza dell'anello	→	8.00 m
Raggio d'entrata	→	18.00 m
Larghezza corsia entrante	→	3.50 m
Raggio d'uscita	→	20.00 m
Larghezza corsie di uscita	→	4.50 m
Raggio di raccordo	→	98.00 m

Asse stradale di categoria C2 - Rotatoria Nord:

Due corsie, 2 x 3.00 m	→	6.00 m
Banchina esterna pavimentata, 2 x 1.00 m	→	2.00 m
Larghezza complessiva pavimentata	→	8.00 m
Pendenza longitudinale	→	0.00 %
Pendenza trasversale verso l'esterno della rotatoria	→	7.00 %
Raggio esterno rotatoria	→	24.50 m
Larghezza dell'anello	→	8.00 m
Raggio d'entrata	→	18.00 m
Larghezza corsia entrante	→	3.50 m
Raggio d'uscita	→	20.00 m
Larghezza corsie di uscita	→	4.50 m

Raggio di raccordo → 98.00 m

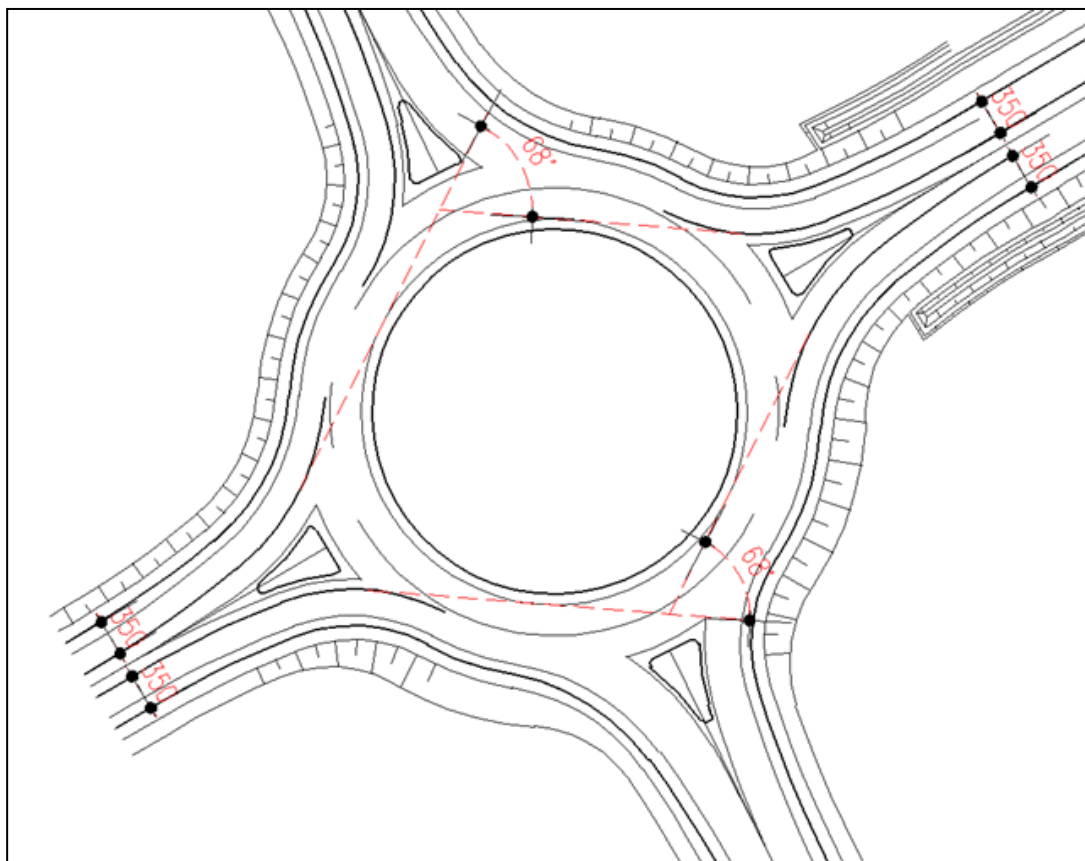
Tutti i parametri progettuali utilizzati per il dimensionamento dell'asse stradale risultano compatibili con quanto previsto dal DM 5/11/2001 per una strada di categoria C2.

6.12. VERIFICHE GEOMETRICHE E FUNZIONALI DELLA ROTATORIA

La geometria delle rotatorie è stata definita adottando, sia per l'anello giratorio che per le rampe di ingresso e uscita, valori compresi negli intervalli definiti dal DM 19 Aprile 2006 – “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali”. Si è inoltre controllato che le grandezze geometriche fissate rispettino quanto riportato nella normativa regionale relativa alla progettazione delle intersezioni (Regolamento regionale 24 Aprile 2006 n. 7 – “ Norme tecniche per la costruzione delle strade” Allegato 2 – “Progettazione delle zone di intersezione”.

Al fine di garantire la corretta progettazione delle rotatorie sono state condotte le verifiche della deflessione dei rami in attraversamento (DM 19 Aprile 2006 – “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali”, paragrafo 4.5.3), nonché le verifiche di visibilità per i vari rami di accesso.

Negli schemi grafici seguenti si riportano gli schemi giustificativi delle verifiche condotte:



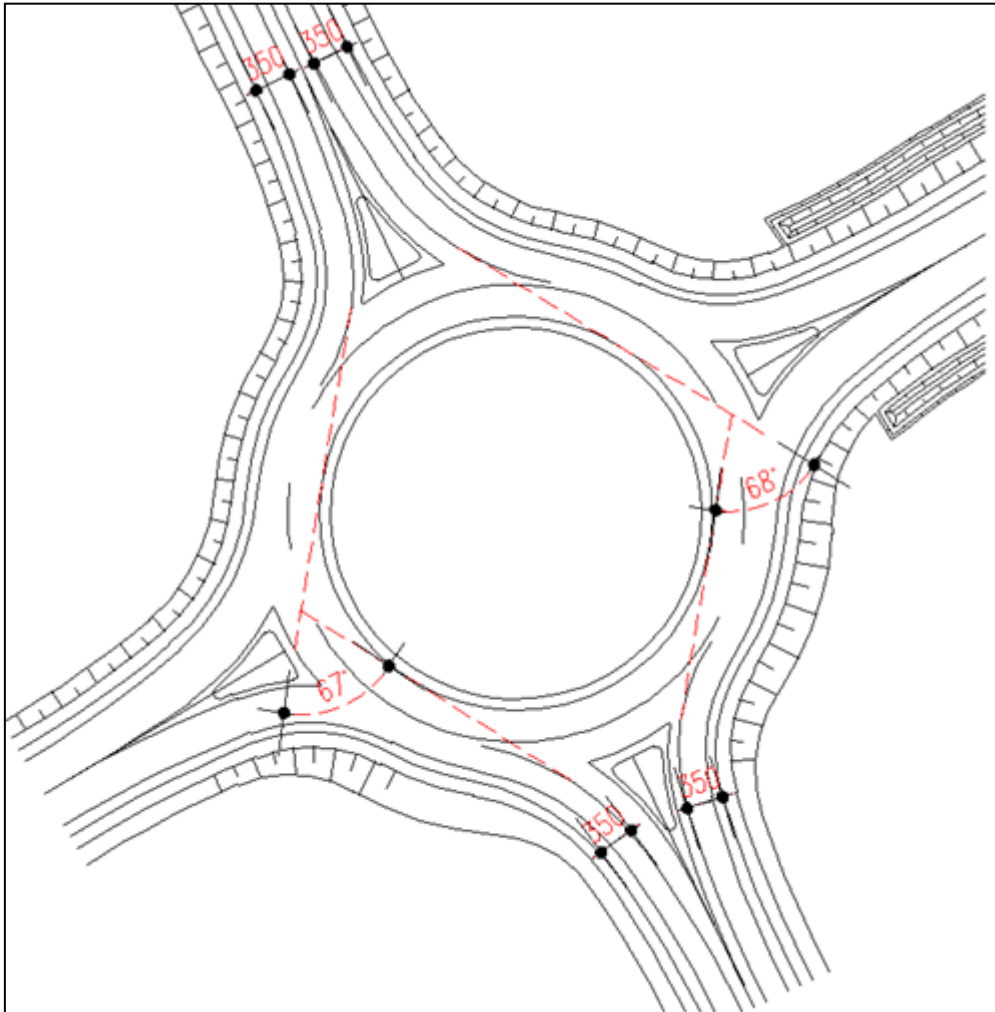


FIGURA 6.12.1 – VERIFICHE DI DEFLESSIONE ROTATORIA SUD

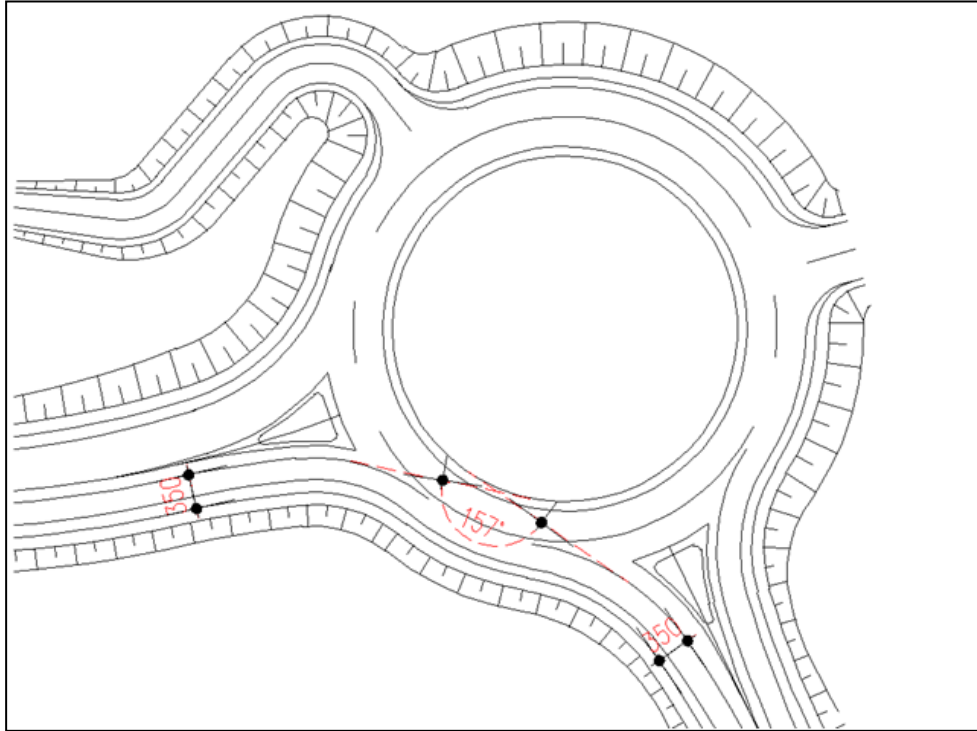
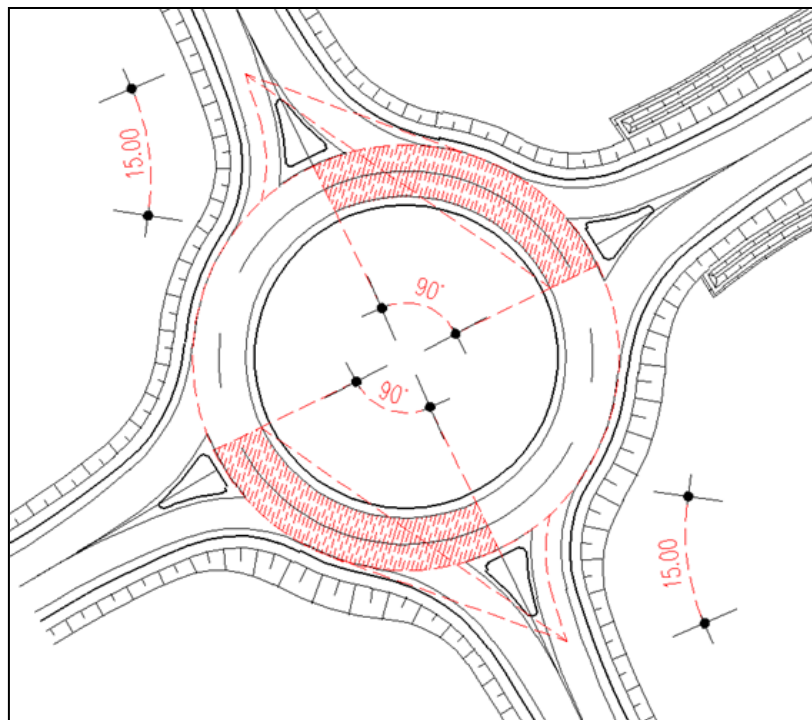


FIGURA 6.12.2 – VERIFICHE DI DEFLESSIONE ROTATORIA NORD



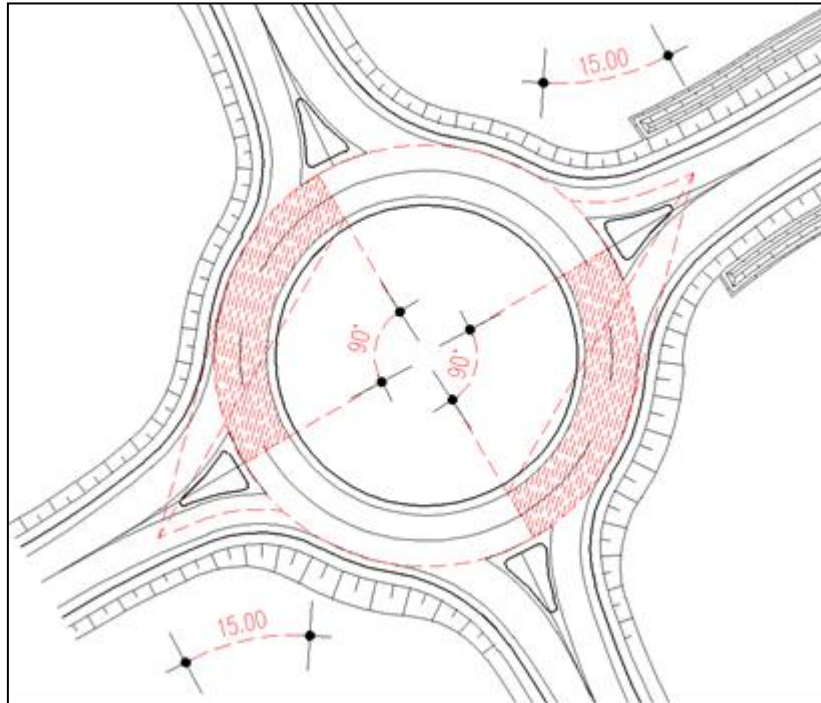


FIGURA 6.3 – VERIFICHE DI VISIBILITÀ ROTATORIA SUD

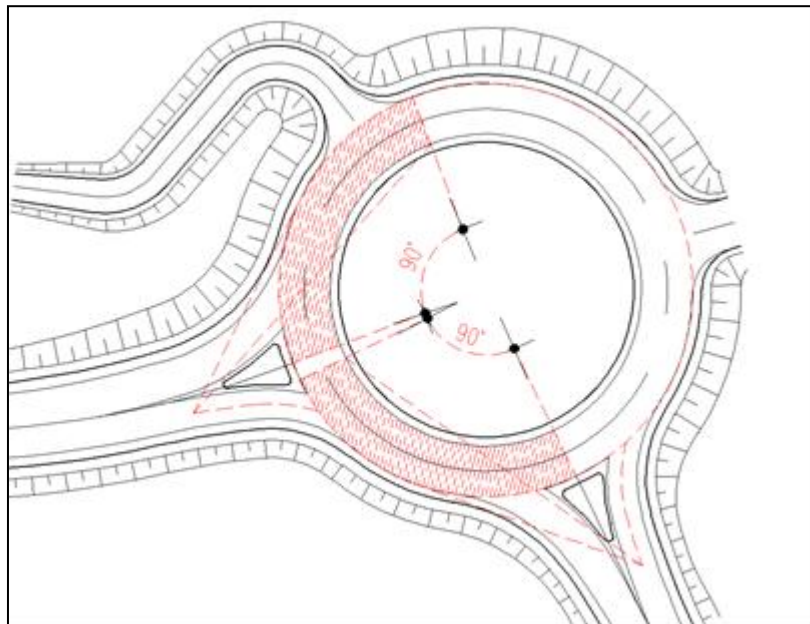


FIGURA 6.4 – VERIFICHE DI VISIBILITÀ ROTATORIA NORD



6.13. VERIFICHE ANDAMENTO PLANIMETRICO

Con riferimento all'elaborato grafico "Diagramma di velocità e di visuale libera" si osserva come il tracciato rispetti quanto contenuto all'interno del DM 5/11/2001 in termini di verifiche degli elementi planimetrici per la categoria di strada in esame.

Si riporta tabulato riassuntivo degli elementi planimetrici del tracciato di progetto:

V44 - Sottovia via Imperiale Camurana			
ASSE VCS44			
Dati generali sul tracciato STP IMPERIALE CAMURANA			
Progressiva Iniziale (m): 0.00000000		Lunghezza (m) : 164.52203160	
Progressiva Finale (m) : 164.52203160			
Strada Tipo : C2 Strada extraurbana secondaria			
Intervallo di Velocità di progetto (Km/h): 60 <= Vp <= 100			
Rettifilo 1 ProgI 0.00000000 - ProgF 164.52203160			
Coordinate P.to Iniziale X: 245726.92289657		Coordinate P.to Finale X: 245735.90013295	
Y: 195660.86323424		Y: 195825.14015930	
Lunghezza : 164.52203160		Azimut : 86.87207035	
Vp (Km/h) = 40.0			
L >= Lmin =30.00000000 OK			
L <= Lmax =880.00000000 OK			
RAMO A			
Dati generali sul tracciato RAMO A			
Progressiva Iniziale (m): 0.00000000		Lunghezza (m) : 85.35195962	
Progressiva Finale (m) : 85.35195962			
Strada Tipo : C2 Strada extraurbana secondaria			
Intervallo di Velocità di progetto (Km/h): 60 <= Vp <= 100			
Curva 1 Destra ProgI 0.00000000 - ProgF 41.72046894			
Coordinate vertice X: 245691.19255065		Coordinate I punto Tg X: 245712.05104197	
		Coordinate I punto Tg Y: 195854.23073901	
Coordinate vertice Y: 195857.22935056		Coordinate II punto Tg X: 245672.60369840	
		Coordinate II punto Tg Y: 195867.15522098	
Tangente Prim. 1: 21.07292888		TT1 Tangente 1: 21.07292888	
Tangente Prim. 2: 21.07292888		TT2 Tangente 2: 21.07292888	
Alfa Ang. al Vert.: 160.07994342		Numero Archi : 1	
Arco ProgI 0.00000000 - ProgF 41.72046894			
Coordinate vertice X: 245691.19255065		Coordinate I punto Tg X: 245712.05104197	
Coordinate vertice Y: 195857.22935056		Coordinate I punto Tg Y: 195854.23073901	
Coordinate centro curva X: 245729.12666481		Coordinate II punto Tg X: 245672.60369840	



Coordinate centro curva Y:	195973.00962225	Coordinate II punto Tg Y:	195867.15522098
Raggio :	120.00000000	Angolo al vertice :	19.92005658
Tangente :	21.07292888	Sviluppo :	41.72046894
Saetta :	1.80856117	Corda :	41.51066308
Pt (%) :	6.9		

Vp (Km/h) = 52.0
R >= Rmin = 118.110 OK
Sv >= Smin = 36.090 OK
Pt >= Ptmin = 6.929 OK

Clotoide 2 ProgI 41.72046894 - ProgF 75.35195962

Coordinate vertice X:	245662.69616317	Coordinate I punto Tg X:	245672.60369840
		Coordinate I punto Tg Y:	195867.15522098
Coordinate vertice Y:	195872.44553744	Coordinate II punto Tg X:	245644.56842932
		Coordinate II punto Tg Y:	195885.67893677
Raggio :	120.00000000	Angolo :	8.02892698
Parametro N :	1.00000000	Tangente lunga :	22.44409928
Parametro A :	63.52778040	Tangente corta :	11.23150490
Scostamento :	0.39245981	Sviluppo :	33.63149069
Pti (%) :	6.9	Ptf (%) :	-2.5

Vp (Km/h) = 58.3
A >= radq[(Vp^3-gVR(Ptf-Pti))/c] = 62.600 OK
A >= radq(R/dimax*Bi*|Pti-Ptf|*100) = 60.500 OK
A >= R/3 = 40.000 OK
A <= R = 120.000 OK

Rettifilo 3 ProgI 75.35195962 - ProgF 85.35195962

Coordinate P.to Iniziale X:	245644.56842932	Coordinate P.to Finale X:	245636.49159201
Y:	195885.67893677	Y:	195891.57509646

Lunghezza : 10.00000000 Azimut : 143.87023911

Vp (Km/h) = 60.0
L >= Lmin =50.00000000 No Rprec =120.00000000 Rprec > Rmin =10.00000000 OK
L <= Lmax =1320.00000000 OK

Si precisa che trattandosi di intervento su viabilità esistente e di estensione limitata si accetta la lunghezza del rettilo finale inferiore al minimo da normativa in quanto tale rettilo è da considerarsi unitamente alla viabilità esistente cui ci si raccorda; la sua lunghezza complessiva risulta quindi maggiore del minimo richiesto.

RAMO B

Dati generali sul tracciato RAMO B

Progressiva Iniziale (m):	0.00000000	Lunghezza (m) :	334.32453509
Progressiva Finale (m):	334.32453509		
Strada Tipo :	C2 Strada extraurbana secondaria		
Intervallo di Velocit� di progetto (Km/h):	60 <= Vp <= 100		

Rettifilo 1 ProgI 0.00000000 - ProgF 132.59289563

Coordinate P.to Iniziale X:	245751.01957826	Coordinate P.to Finale X:	245883.55061492
Y:	195636.18005987	Y:	195640.22978741



Lunghezza	:	132.59289563	Azimut	:	1.75023243
Vp (Km/h) =	66.0				
L >= Lmin	=58.92500000	OK			
L <= Lmax	=1450.90700000	OK	Rsucc =250.00000000	Rsucc > Rmin =132.59000000	OK

Curva 2 Destra ProgI 132.59289563 - ProgF 328.00506444					
Coordinate vertice	X:	245984.20478429	Coordinate I punto Tg	X:	245883.55061492
			Coordinate I punto Tg	Y:	195640.22978741
Coordinate vertice	Y:	195643.30545913	Coordinate II punto Tg	X:	246066.41543595
			Coordinate II punto Tg	Y:	195585.14937330
Tangente Prim. 1:	83.71177847		TT1 Tangente 1:	100.70114978	
Tangente Prim. 2:	83.71177847		TT2 Tangente 2:	100.70114978	
Alfa Ang. al Vert.:	142.97405349		Numero Archi	:	1

Clotoide in entrata ProgI 132.59289563 - ProgF 166.44889563					
Coordinate vertice	X:	245906.11617210	Coordinate I punto Tg	X:	245883.55061492
			Coordinate I punto Tg	Y:	195640.22978741
Coordinate vertice	Y:	195640.91931917	Coordinate II punto Tg	X:	245917.39863936
			Coordinate II punto Tg	Y:	195640.49981671
Raggio	:	250.00000000	Angolo	:	3.87961182
Parametro N	:	1.00000000	Tangente lunga	:	22.57608967
Parametro A	:	92.00000000	Tangente corta	:	11.29026350
Scostamento	:	0.19100684	Sviluppo	:	33.85600000
Pti (%)	:	-2.5	Ptf (%)	:	5.6
Vp (Km/h) =	70.0				
A >= radq[(Vp^3-gVR(Ptf-Pti))/c]	=	90.400	OK		
A >= radq(R/dimax*Bi* Pti-Ptf *100)	=	88.600	OK		
A >= R/3	=	83.300	OK	A/Au = 1.000	A/Au >= 2/3 = 0.670 OK
A <= R	=	250.000	OK	A/Au = 1.000	A/Au <= 3/2 = 1.500 OK

Arco ProgI 166.44889563 - ProgF 294.14906444					
Coordinate vertice	X:	245982.62915414	Coordinate I punto Tg	X:	245917.39863936
Coordinate vertice	Y:	195638.07442865	Coordinate I punto Tg	Y:	195640.49981671
Coordinate centro curva	X:	245908.10960772	Coordinate II punto Tg	X:	246038.34749894
Coordinate centro curva	Y:	195390.67244853	Coordinate II punto Tg	Y:	195604.06900823
Raggio	:	250.00000000	Angolo al vertice	:	29.26672286
Tangente	:	65.27558935	Sviluppo	:	127.70016881
Saetta	:	8.10944130	Corda	:	126.31639022
Pt (%)	:	5.6			
Vp (Km/h) =	70.0				
R >= Rmin	=	118.110	OK		
Sv >= Smin	=	48.610	OK		
Pt >= Ptmin	=	5.580	OK		

Clotoide in uscita ProgI 294.14906444 - ProgF 328.00506444					
Coordinate vertice	X:	246047.98471249	Coordinate I punto Tg	X:	246038.34749894
			Coordinate I punto Tg	Y:	195604.06900823
Coordinate vertice	Y:	195598.18732779	Coordinate II punto Tg	X:	246066.41543595
			Coordinate II punto Tg	Y:	195585.14937330
Raggio	:	250.00000000	Angolo	:	3.87961182
Parametro N	:	1.00000000	Tangente lunga	:	22.57608967
Parametro A	:	92.00000000	Tangente corta	:	11.29026350
Scostamento	:	0.19100684	Sviluppo	:	33.85600000
Pti (%)	:	5.6	Ptf (%)	:	-2.5
Vp (Km/h) =	70.0				



A >= radq[(Vp^3-gVR(Ptf-Pti))/c]	=	90.400	OK							
A >= radq(R/dimax*Bi* Pti-Ptf *100)	=	88.600	OK							
A >= R/3	=	83.300	OK	Ae/A	=	1.000	Ae/A >= 2/3	=	0.670	OK
A <= R	=	250.000	OK	Ae/A	=	1.000	Ae/A <= 3/2	=	1.500	OK

Rettifilo 3 ProgI 328.00506444 - ProgF 334.32453509										

Coordinate P.to Iniziale X:	246066.41543595		Coordinate P.to Finale X:	246071.57454090						
Y:	195585.14937330		Y:	195581.49980546						

Lunghezza	:	6.31947065	Azimet	:	324.72428592					

Vp (Km/h) =	70.0			Rprec =	250.00000000	Rprec >	Rmin =	6.32000000	OK	
L >= Lmin	=	65.00000000	No							
L <= Lmax	=	1540.00000000	OK							

Si precisa che trattandosi di intervento su viabilità esistente e di estensione limitata si accetta la lunghezza del rettilo finale inferiore al minimo da normativa in quanto tale rettilo è da considerarsi unitamente alla viabilità esistente cui ci si raccorda; la sua lunghezza complessiva risulta quindi maggiore del minimo richiesto.

7. VERIFICHE DI VISIBILITA'

7.1. CRITERI PER L'ESECUZIONE DELLE VERIFICHE DI VISIBILITA'

Per distanza di visuale libera o di visibilità si intende la lunghezza del tratto di strada che il conducente riesce a vedere davanti a sé senza considerare l'influenza del traffico, delle condizioni atmosferiche e di illuminazione della strada.

La distanza di visuale libera deve essere confrontata, a seconda dei casi, con le seguenti distanze definite nel D.M. 5/11/2001:

- Distanza di visibilità per l'arresto, che è pari allo spazio minimo necessario perché un conducente possa arrestare il veicolo in condizione di sicurezza davanti ad un ostacolo imprevisto;
- Distanza di visibilità per il sorpasso, che è pari alla lunghezza del tratto di strada occorrente per compiere una manovra di completo sorpasso in sicurezza, quando non si possa escludere l'arrivo di un veicolo in senso opposto;
- Distanza di visibilità per la manovra di cambiamento di corsia, che è pari alla lunghezza del tratto di strada occorrente per il passaggio da una corsia a quella ad essa adiacente nella manovra di deviazione in corrispondenza di punti singolari (intersezioni, uscite, ecc.).

Per le rampe del sottovia, costituite da una unica carreggiata bidirezionale, si escludono il calcolo della distanza di visibilità per il cambio corsia e per il sorpasso poiché è interdetta la manovra di sorpasso mediante apposita segnaletica.

7.2. DISTANZA DI VISIBILITA' PER L'ARRESTO

Il D.M.5.11.2001 stabilisce che lungo tutto il tracciato deve essere assicurata la distanza di visibilità per l'arresto.

Tale distanza si calcola secondo la seguente formula integrale:

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

dove:

- D_1 = spazio percorso nel tempo τ
 D_2 = spazio di frenatura
 V_0 = velocità del veicolo all'inizio della frenatura, pari alla velocità di progetto
 desunta puntualmente dal diagramma delle velocità [km/h]
 V_1 = velocità finale del veicolo, in cui $V_1 = 0$ in caso di arresto [km/h]
 i = pendenza longitudinale del tracciato [%]
 τ = tempo complessivo di reazione (percezione, riflessione, reazione e attuazione) [s]
 g = accelerazione di gravità [m/s^2]
 R_a = resistenza aerodinamica [N]
 m = massa del veicolo [kg]
 f_l = quota limite del coefficiente di aderenza impegnabile longitudinalmente per la frenatura
 r_0 = resistenza unitaria al rotolamento, trascurabile [N/kg]

La resistenza aerodinamica R_a si valuta con la seguente espressione :

$$R_a = \frac{1}{2 \times 3,6^2} \rho C_x S V^2 \quad [N]$$

dove:

- C_x = coefficiente aerodinamico
 S = superficie resistente [m²]
 ρ = massa volumica dell'aria in condizioni standard [kg/m³]

VELOCITA' [km/h]	25	40	60	80	100	120	140
f_l (cat. C2)	0.45	0.43	0.35	0.30	0.25	0.21	-

TABELLA 7.2 -1 – QUOTA LIMITE DEL COEFFICIENTE DI ADERENZA IMPEGNABILE
LONGITUDINALMENTE PER LA FRENATURA

Nel caso della Strada Comunale, si è fatto riferimento al seguente diagramma nel quale sono rappresentate, per l'ambito extraurbano, le distanze di visibilità per l'arresto calcolate in funzione della velocità di progetto e della pendenza longitudinale.

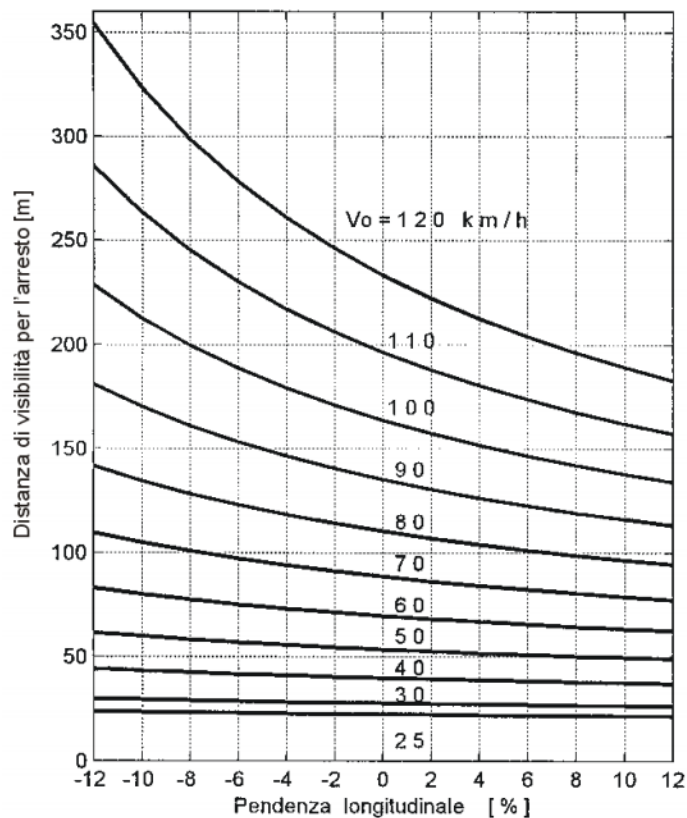


FIGURA 7.2.1 – DISTANZA DI VISIBILITA' PER L'ARRESTO IN FUNZIONE DI V_p E PENDENZA LONGITUDINALE

In corrispondenza dei raccordi verticali si assume come valore di pendenza, la media algebrica delle pendenze delle due livellette raccordate.

Essendo il tracciato tutto in rettilineo non sono stati previsti allargamenti della carreggiata in quanto non necessari. La verifiche di visibilità condotte hanno restituito esito positivo in entrambe le direzioni come si evince dalle figure seguenti.

DIAGRAMMA DI VISUALE LIBERA E DI VELOCITA'

X= 1:1000/ Y= 1:1000

RAMO B

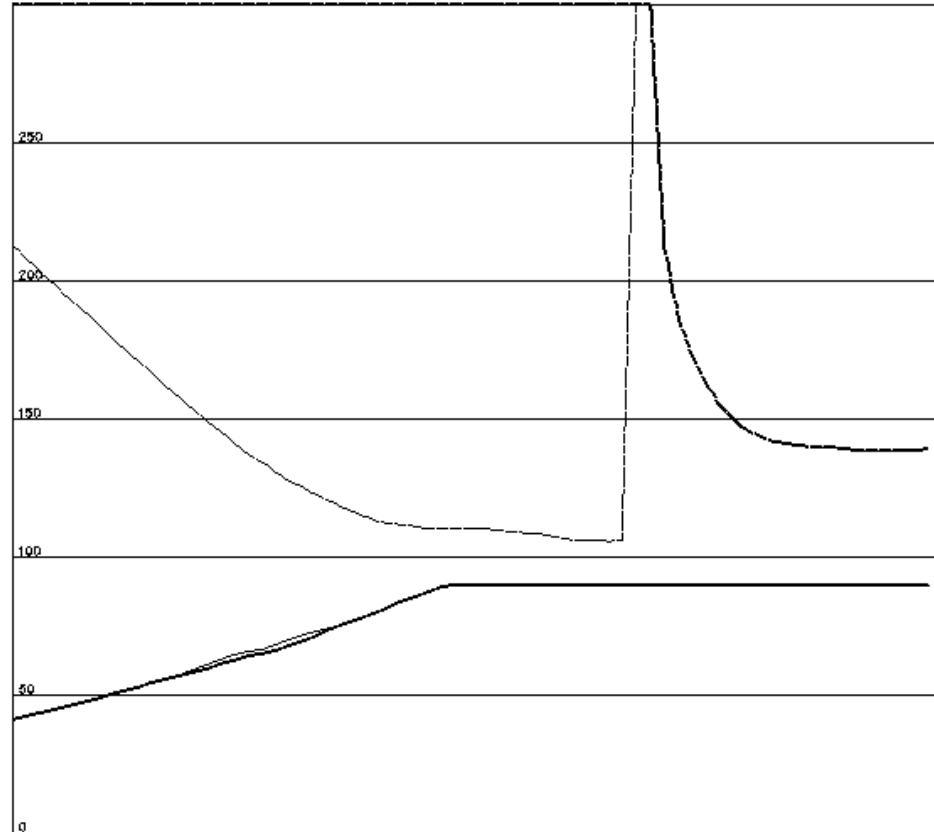
DIAGRAMMA DI VISIBILITA'

Scala X 1: 1000.000

Scala Y 1: 1000.000

LEGENDA

- Dva_dx
- Dva_dx
- Da_dx
- Da_dx



AND. PLANIMETRICO	L = 127.28	L = 257.70 R = 335.00	L = 257.70 R = 335.00
DIAGR. VELOCITA'	40	50	70
PROGRESSIVE	0.00	100.00	200.00
ETOMETRICHE	0	1	2
AND. ALTIMETRICO	P ₁ = 16.20 R ₁ = 1000.00	P ₂ = 1.80 R ₂ = 1000.00	P ₃ = 1.80 R ₃ = 1000.00
Da_dx	10.70	10.70	10.70
Da_dx	10.70	10.70	10.70
Dva_dx	10.70	10.70	10.70
Dva_dx	10.70	10.70	10.70
Dva_dx > Da_dx			
Dva_dx > Da_dx			

8. GEOMETRIA DELL'ASSE STRADALE - ANDAMENTO ALTIMETRICO

8.1. CRITERI USATI PER LA COSTRUZIONE DEL PROFILO ALTIMETRICO

Il profilo altimetrico è costituito da tratti a pendenza costante (livellette) collegati da raccordi verticali convessi e concavi.

Per una strada classificata come C2, strada locale extraurbana, la pendenza massima da normativa si attesta ad un valore pari al 7%. Nella infrastruttura di progetto è stata assunta una pendenza limite pari al 3.00%.

Per i raccordi verticali si distinguono raccordi concavi e convessi, che vanno dimensionati con riferimento alle distanze di visibilità. I valori minimi sono stabiliti, essenzialmente, allo scopo di assicurare il comfort all'utenza e per assicurare le visuali libere per la sicurezza di marcia.

In base al primo criterio si pone un limite all'accelerazione verticale ovvero:

$$A_v = \frac{v_p^2}{R_v} \leq a_{lim} \quad [m/s^2]$$

dove: v_p è la velocità di progetto desunta dal diagramma di velocità [m/s], R_v è il raggio del raccordo verticale nel vertice della parabola [m] e a_{lim} è l'accelerazione verticale limite pari a 0,6 [m/s²], da cui risulta un valore minimo del raggio del raccordo verticale pari a:

$$R_v = 0,129 \cdot v_p^2 \quad [m/s^2]$$

Dove v_p è la velocità di progetto desunta puntualmente dal diagramma di velocità [km/h].

In base al secondo criterio e sapendo che i raccordi sono eseguiti con archi di parabola quadratica ad asse verticale, il cui sviluppo viene calcolato con l'espressione:

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

dove Δi è la variazione di pendenza percentuale delle livellette da raccordare ed R_v è il raggio del cerchio osculatore, nel vertice della parabola.

Fissata la distanza di visuale libera che si vuole verificare lungo lo sviluppo del tracciato, le formule per il caso convesso sono:

- se D è inferiore allo sviluppo L del raccordo si ha

$$R_v = \frac{D^2}{2 \times (h_1 + h_2 + 2 \times \sqrt{h_1 \times h_2})}$$

- se invece $D > L$

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

Si pone da 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.

Per il caso concavo ponendo $h = 0,5$ m e $\theta = 1^\circ$ sono:

- se D è inferiore allo sviluppo del raccordo si ha:

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

- se invece $D > L$:

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

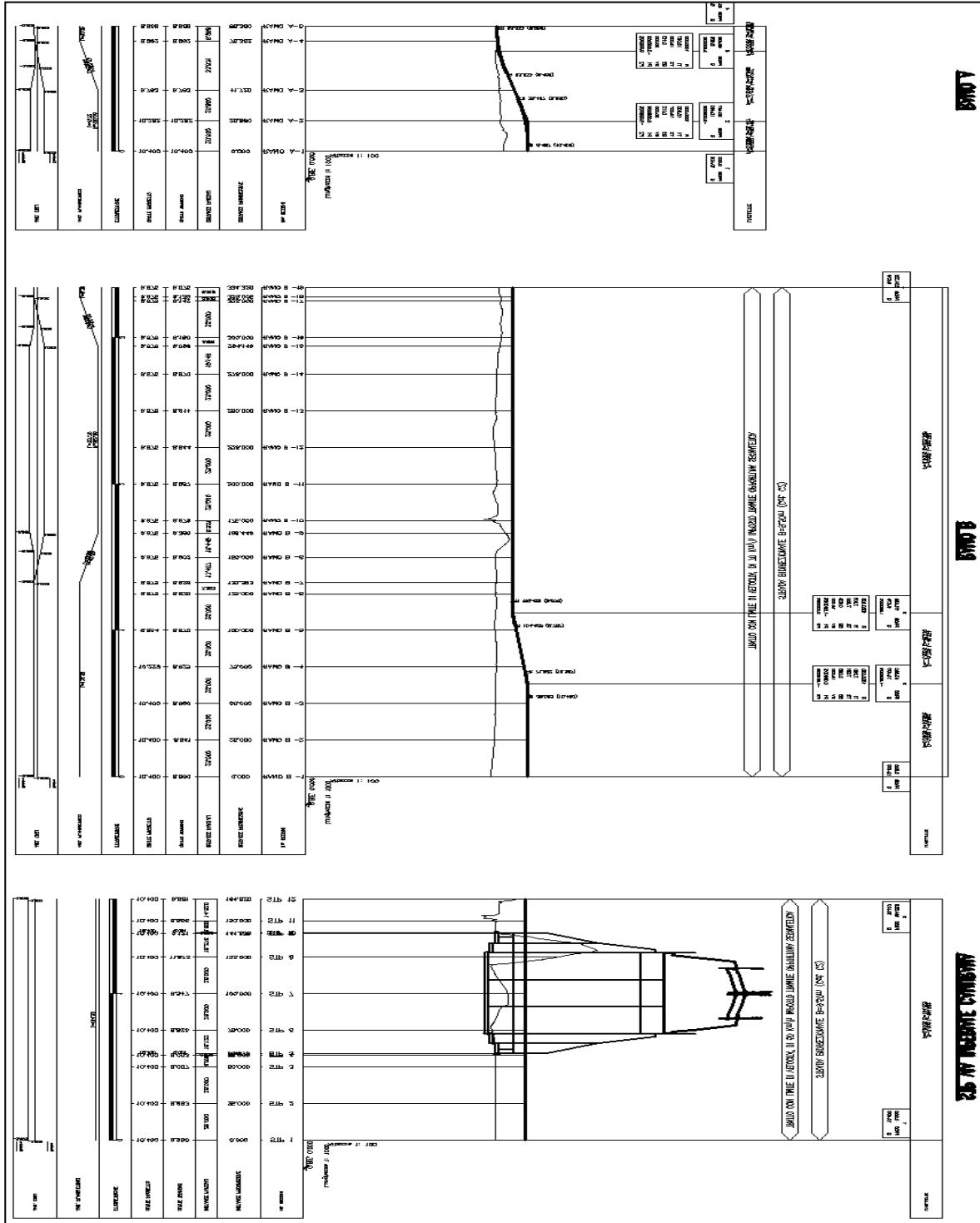
Dove:

- L è la lunghezza del raccordo parabolico misurata sulla proiezione orizzontale [m];
- Δi è il valore assoluto della differenza di pendenza tra le due livellette da raccordare [m];
- h è l'altezza del centro dei fari del veicolo sul piano stradale [m];
- θ è la massima divergenza verso l'alto del fascio luminoso rispetto all'asse del veicolo [°]

8.2. ANDAMENTO ALTIMETRICO

La velocità di progetto del tracciato stradale influenza anche le caratteristiche dei raccordi circolari da introdurre tra le livellette del profilo longitudinale.

Analogamente a quanto considerato per l'andamento planimetrico, anche per l'andamento altimetrico si possono limitare i raggi altimetrici e quindi di conseguenza si può limitare l'ingombro effettivo dell'opera, limitando il valore limite superiore dell'intervallo di velocità di progetto.



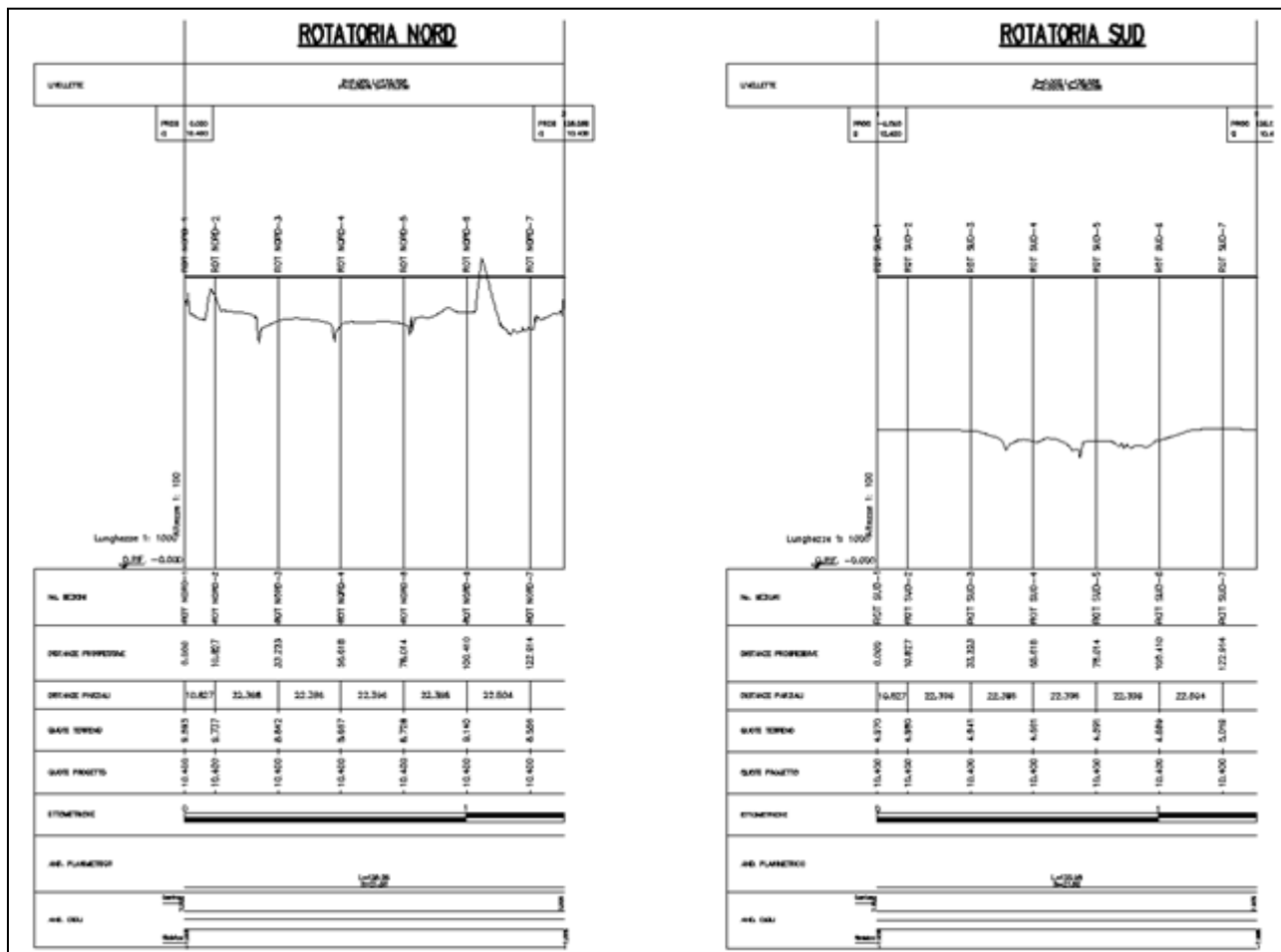


FIGURA 8.2.2 – PROFILO ALTIMETRICO DELL'INTERVENTO DI VIA IMPERIALE CAMURANA

8.3. VERIFICHE ALTIMETRICHE

L'andamento altimetrico del tracciato presenta una pendenza massima del 3.00%. I raccordi parabolici utilizzati sono di raggio maggiore rispetto ai minimi imposti dal D.M. 5/11/2001

RAMO B

Raccordi Verticali													
N.	Tipo	Raggio Vert.	Delta i (%)	Sviluppo	Prog. Iniziale	Prog. Finale	Parziale Rac.	Sorp/Dc	Vp (km/h)	Diag. Vel	Raggio Min.	Esito	Verifiche
1	Parabolico	1000.000000	-1.50000000	15.00056251	56.09191277	71.09191277	15.00000000	<input type="checkbox"/>	53.40147185	<input checked="" type="checkbox"/>	366.7331784	●	...
2	Parabolico	1000.000000	1.50000000	15.00056251	104.4257834	119.4257834	15.00000000	<input type="checkbox"/>	62.51284586	<input checked="" type="checkbox"/>	502.5534848	●	...



RAMO A

Raccordi Verticali														
	N.	Tipo	Raggio Vert.	Delta i (%)	Sviluppo	Prog. Iniziale	Prog. Finale	Parziale Rac.	Sorp/Dc	Vp (km/h)	Diag. Vel	Raggio Min.	Esito	Verifiche
▶	1	Parabolico	1000.000000	-3.00000000	30.00449962	5.48667532	35.48667532	30.00000000	<input type="checkbox"/>	50.00964518	<input checked="" type="checkbox"/>	321.6261073		...
	2	Parabolico	1000.000000	3.00000000	30.00449962	53.53332899	83.53332899	30.00000000	<input type="checkbox"/>	59.63564300	<input checked="" type="checkbox"/>	920.8689586		...

9. DIAGRAMMA DI VELOCITA'

Il diagramma delle velocità è la rappresentazione grafica dell'andamento della velocità di progetto in funzione della progressiva dell'asse stradale. Si costruisce sulla base del solo tracciato planimetrico, calcolando, per ogni elemento di esso, l'andamento della velocità di progetto.

Il diagramma di velocità viene redatto sulla base delle seguenti ipotesi:

- sui rettili, sulle curve circolari con raggio non inferiore ad R^* e lungo le clotoidi, la velocità tende al limite superiore dell'intervallo di velocità di progetto;
- su tutte le curve con raggio inferiore ad R^* la velocità è costante e si valuta attraverso l'equazione di stabilità allo slittamento del veicolo in curva;
- gli spazi di accelerazione e di decelerazione, rispettivamente, in uscita o in ingresso ad una curva circolare, ricadono sugli elementi indicati in a);
- le variazioni avvengono con moto uniformemente vario con $a = 0,8 \text{ m/s}^2$. Lo spazio necessario per passare da una velocità V_1 ad una velocità V_2 , denominata dalle Norme distanza di transizione D_T , si valuta con la relazione:

$$D_T = \frac{\Delta V \times V_m}{12,96 \times a}$$

Dove: ΔV = differenza di velocità ($V_{p1} - V_{p2}$) [km/h]

V_m = velocità media tra due elementi [km/h]

a = accelerazione o decelerazione $\pm 0,8$ [m/s²]

- la decelerazione termina all'inizio della curva circolare, mentre l'accelerazione comincia all'uscita della curva circolare, pertanto è a partire da questi punti che vanno riportate le distanze di transizione.
- Affinché il conducente possa attuare la decelerazione, è necessario che la curva sia vista e percepita come tale; la distanza ΔT deve, pertanto, essere minore della visuale libera disponibile e della distanza di riconoscimento D_r che può essere calcolata moltiplicando per 12 la velocità espressa in m/s.

E' necessario verificare che 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. Inoltre, fra due curve successive tale differenza, comunque mai superiore a 20 km/h, è consigliabile che non superi i 15 km/h.

Nel caso della infrastruttura di progetto, essendo il tracciato in rettilineo, è stato possibile evitare ulteriori verifiche, tuttavia, come suddetto, la velocità di progetto massima varia tra 40 km/h e 70 km/h.

Per maggiori dettagli sul diagramma delle velocità fare riferimento all'elaborato specifico.

10. COORDINAMENTO PLANOALTIMETRICO

Per coordinamento plano-altimetrico si intendono quegli accorgimenti tesi a garantire una percezione chiara delle caratteristiche del tracciato stradale ed evitare variazioni brusche delle linee che lo definiscono nel quadro prospettico, coordinando sotto certe regole l'andamento planimetrico e quello altimetrico.

Le regole da osservare per un buon coordinamento sono le seguenti:

1. Occorre evitare che il punto di inizio di una curva planimetrica coincida o sia prossimo con la sommità di un raccordo verticale convesso. Se ciò si verifica, risulta mascherato il cambiamento di direzione in planimetria. Un miglioramento del quadro prospettico lo si ottiene anticipando l'inizio dell'elemento curvilineo planimetrico quanto più possibile.
2. Occorre evitare che un raccordo planimetrico inizi immediatamente dopo un raccordo concavo. Se ciò si verifica la visione prospettica dei cigli presenta una falsa piega.
3. Quando non sia possibile spostare i due elementi in modo che le posizioni dei rispettivi vertici coincidano, un miglioramento della qualità ottica del tracciato lo si ottiene imponendo che il rapporto fra il raggio verticale R_v ed il raggio della curva planimetrica R sia ≥ 6 .
4. Occorre evitare l'inserimento di raccordi verticali concavi di piccolo sviluppo all'interno di curve planimetriche di grande sviluppo. In questo caso, la visione prospettica di uno dei cigli presenta difetti di continuità. Per correggere tale difetto occorre aumentare il più possibile il rapporto R_v/R in modo che gli sviluppi dei due raccordi coincidano.
5. Occorre evitare il posizionamento di un raccordo concavo immediatamente dopo la fine di una curva planimetrica. Anche in questo caso nelle linee di ciglio si presentano evidenti difetti di continuità ed inoltre si percepisce un restringimento della larghezza della sede stradale che può indurre l'utente ad adottare comportamenti non rispondenti alla reale situazione del tracciato. Questo difetto può essere ancora corretto portando a coincidere i vertici dei due elementi.
6. Occorre evitare che il vertice di un raccordo concavo coincida o sia prossimo ad un punto di flesso della linea planimetrica. Anche in questo caso la visione prospettica è falsata e l'utente percepisce un falso restringimento della larghezza della sede stradale. Per ovviare a tale difetto si provvede come nel caso precedente.

Tutti i raccordi altimetrici rispettano le regole e pertanto si ottiene un buon coordinamento plano-altimetrico. Anche la verifica relativa alle perdite di tracciato da esito positivo.