



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

CODICE C.U.P. E81B08000060009

PROGETTO DEFINITIVO

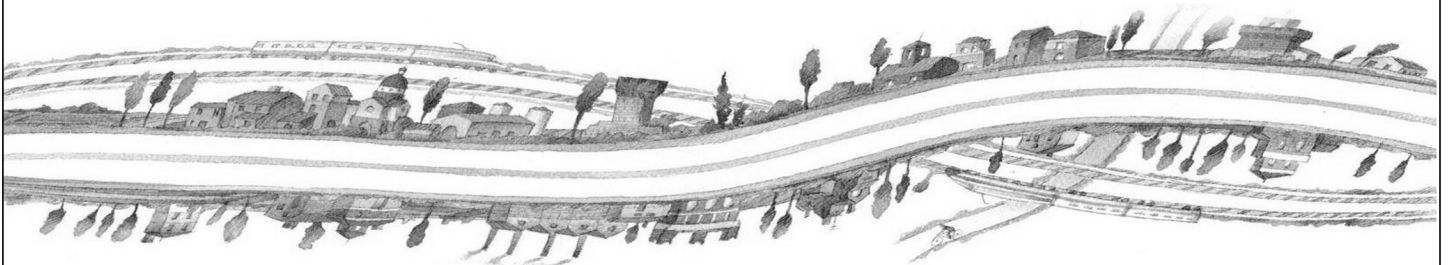
ASSE AUTOSTRADALE (COMPRESIVO DEGLI INTERVENTI LOCALI DI COLLEGAMENTO VIARIO AL SISTEMA AUTOSTRADALE)

PROGETTAZIONE STRADALE

VIABILITA' INTERFERITA

V11 - CAVALCAVIA SP 11 DIREZIONE MIRANDOLA

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				Fantoni	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:
1626	PD	0	V11	VCS11	0	SD	RT	01	A	-

INDICE

1. GENERALITA'	2
2. RIFERIMENTI	4
3. CRITERI DI PROGETTAZIONE STRADALE	5
3.1. SEZIONE STRADALE TIPO	5
3.2. SMALTIMENTO ACQUE DI PIATTAFORMA	7
3.3. VELOCITA' DI PROGETTO	10
4. DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO	12
5. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	13
6. GEOMETRIA DELL'ASSE STRADALE - ANDAMENTO PLANIMETRICO	15
6.1. RETTIFILI	15
6.2. CURVE CIRCOLARI	16
6.3. PENDENZE TRASVERSALI NEI RETTIFILI E NELLE CURVE CIRCOLARI	18
6.4. COMPATIBILITÀ TRA CURVE CIRCOLARI E RETTIFILI	20
6.5. ALLARGAMENTO PER L'ISCRIZIONE LUNGO LE CURVE CIRCOLARI	20
6.6. CURVE A RAGGIO VARIABILE	21
6.7. PARAMETRO MASSIMO CLOTOIDI	24
6.8. PENDENZA TRASVERSALE LUNGO LE CLOTOIDI	24
6.9. VALORI MASSIMI DELLA SOVRAPENDENZA ΔI	25
6.10. VALORI MINIMI DELLA SOVRAPENDENZA ΔI	26
6.11. VERIFICHE ANDAMENTO PLANIMETRICO	28
7. VERIFICHE DI VISIBILITA'	30
7.1. CRITERI PER L'ESECUZIONE DELLE VERIFICHE DI VISIBILITA'	30
7.2. DISTANZA DI VISIBILITA' PER L'ARRESTO	30
8. GEOMETRIA DELL'ASSE STRADALE - ANDAMENTO ALTIMETRICO	34
8.1. CRITERI USATI PER LA COSTRUZIONE DEL PROFILO ALTIMETRICO	34
8.2. ANDAMENTO ALTIMETRICO	36
8.3. VERIFICHE ALTIMETRICHE	36
9. DIAGRAMMA DI VELOCITA'	37
10. COORDINAMENTO PLANO-ALTIMETRICO	38

1. GENERALITA'

Nel presente elaborato viene descritto l'intervento che interesserà la via San Martino Carano in direzione Mirandola esistente, oggetto di adeguamento, la quale oltrepasserà mediante cavalcavia la Nuova Autostrada Regionale Cispadana.

Tale strada provinciale interferisce con l'infrastruttura di progetto alla progressiva pk 12 + 935.50 km, nelle vicinanze del comune di Mirandola in provincia di Modena e rappresenta una viabilità di importanza provinciale. L'intervento dovrà garantire la continuità della circolazione sulla direttrice Est-Ovest.

La viabilità in progetto è costituita da un rilevato che deve scavalcare la sezione autostradale che sarà posta in trincea, garantendo un franco minimo di 5.50 m. lo sviluppo del cavalcavia sarà di circa 40.20 m.

Per garantire la continuità della viabilità esistente durante i lavori di realizzazione della nuova viabilità è prevista una deviazione provvisoria che rispetta le caratteristiche progettuali; l'attività progettuale è stata finalizzata a definire un tracciato plano-altimetrico che tendesse alla rispondenza di tutti i requisiti di sicurezza e correttezza degli elementi progettuali richiesti dal D.M. 5/11/2001.

Si riportano nel seguito le caratteristiche dimensionali e geometriche del tracciato, in riferimento a quanto previsto dal D.M. 5/11/2001:

Una corsia per senso di marcia, 2 x 3.50 m	7.00 m
Banchina esterna pavimentata, 2 x 1.00 m	2.00 m
Pista ciclopedonale,	2.50 m
Spartitraffico,	0.70 m
Larghezza complessiva	12.20 m
Pendenza longitudinale massima	3.884 %
Raggio minimo raccordi verticali concavi	1500 m
Raggio minimo raccordi verticali convessi	1500 m
V di progetto max	60 km/h
V amministrativa	60 km/h

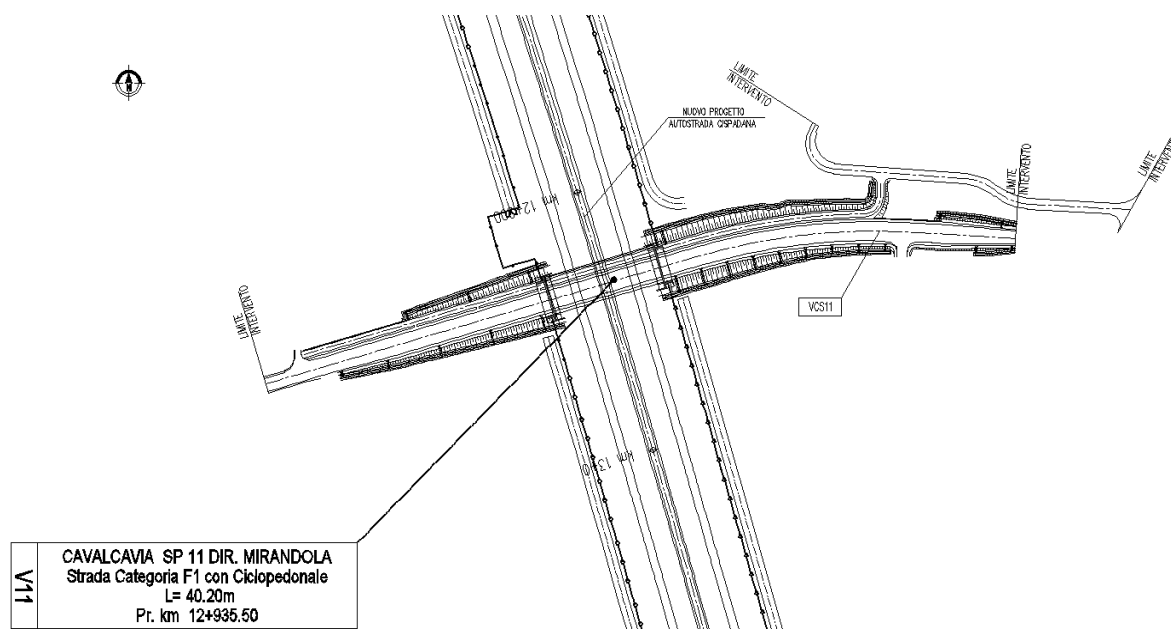


FIGURA 1.1 – SCHEMA PLANIMETRICO DELLA INTERFERENZA TRA AUTOSTRADA E CAVALCAVIA SP11 DIREZIONE MIRANDOLA

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 il 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 strada locale di tipo F1 con pista ciclopedonale. Lo stesso Decreto stabilisce quale sia l'organizzazione della piattaforma stradale e dei suoi margini, considerato 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 compositivi della sezione trasversale sono descritti con riferimento alla seguente figura di cui al Decreto 5/11/2001.

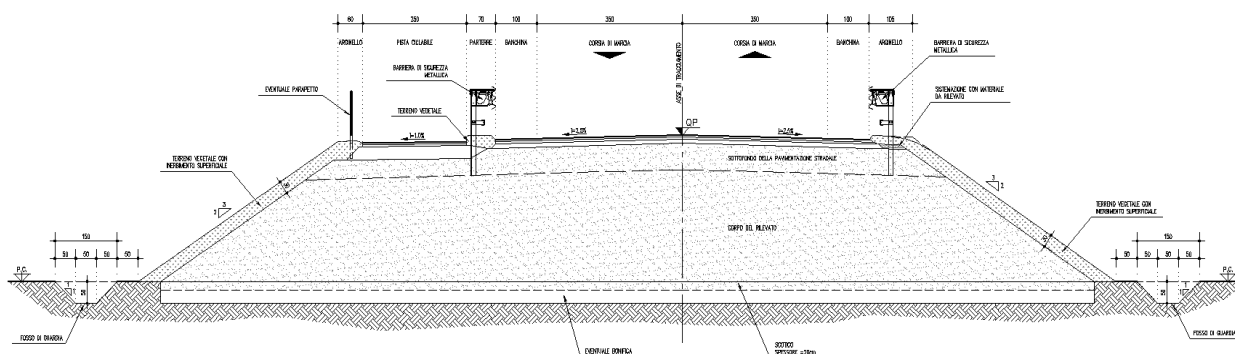


FIGURA 3.1.1 – DEFINIZIONE ILLUSTRATIVA DEGLI ELEMENTI COMPONENTI LO SPAZIO STRADALE

La piattaforma stradale adottata risulta avere una sezione minima pari a 12.20, 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 1.00m;
- pista ciclabile in sinistra pari a 2.50 m;
- spartitraffico separatore tra pista ciclabile e carreggiata pari a 0.70m;

L'arginello lato pista ciclabile è di 0.60m mentre dalla parte opposta è 1.05m. Le scarpate del rilevato hanno una pendenza 3 su 2.

Sono previste barriere di sicurezza di tipo H3-BL quando l'altezza del rilevato è maggiore di un metro e di tipo H3-BP in prossimità del cavalcavia. E' prevista l'installazione di un parapetto a bordo della pista ciclabile per ragioni di sicurezza. Per dettagli maggiori sulle barriere di sicurezza sul parapetto e sulla segnaletica si rimanda all'elaborato specifico.

La pavimentazione del tratto di strada sul cavalcavia di progetto avrà uno spessore complessivo di 11 cm e sarà composto da:

- Strato di usura in SMA– Spessore 3 cm;
- Strato di collegamento (Binder) in conglomerato bituminoso a maglia aperta – Spessore 7 cm;
- Strato di impermeabilizzazione con TNT in poliestere e bitume – Spessore 1 cm.

La pavimentazione del tratto di strada esterno al sottovia di progetto avrà uno spessore complessivo di 79 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 10 cm;
- Sottofondo della pavimentazione in misto stabilizzato – Spessore 60 cm.

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

Per quanto riguarda la definizione dello spessore del cassonetto stradale, i calcoli relativi alla definizione dello stesso, l'esplicitazione dei carichi a cui le pavimentazioni saranno sottoposte, gli ambiti di utilizzo, le tipologie e le caratteristiche dei materiali si rimanda agli elaborati di riferimento. In modo da predisporre un'adeguata protezione del traffico sottostante è prevista l'adozione di reti di conveniente altezza; le strutture di sostegno dell'opera di scavalco sono state previste al di fuori della piattaforma e ad una distanza non inferiore a quella compatibile con il corretto funzionamento dei dispositivi di ritenuta.

Le strutture orizzontali danno luogo ad una altezza libera, misurata sulla verticale a partire da qualsiasi punto della carreggiata stradale sottostante, non inferiore a 5.50 metri, maggiore ai 5.00 metri stabiliti dal D.M. 5/11/2001.

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.

Lo spartitraffico tra pista ciclabile e carreggiata sarà interrotto in alcuni punti (vedere planimetria di smaltimento acque) per permettere all'acqua di defluire verso il ciglio erboso laterale. A determinati intervalli l'elemento marginale della pista ciclabile 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.

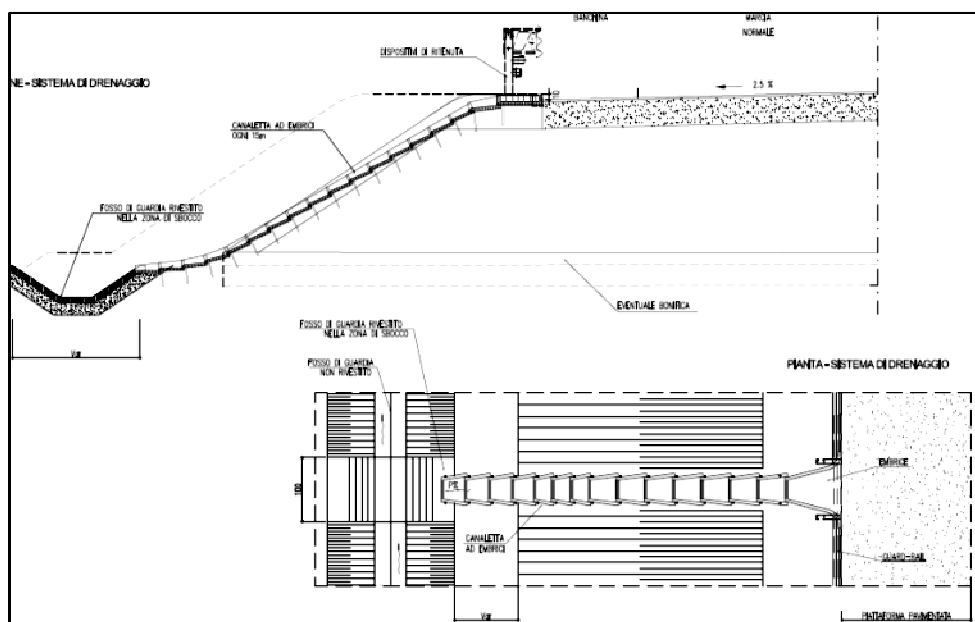


FIGURA 3.2.1 – PARTICOLARE CANALETTE AD EMBRICE

Si riporta in seguito la verifica del passo degli embrici nelle due condizioni di funzionamento idraulico:

Caso 1 – Rettilineo : passo 20 m

Dimensionamento embrice				Portata smaltita dall'embrice			
Analisi idrologica				Portata smaltita dall'embrice			
Pendenza longitudinale	0,0347	(nella direzione del moto)		Larghezza imbocco embrice	0,9	m	
Pendenza trasversale	0,01	(pendenza trasversale)		Invito embrice	0,05	m	
Scabrezza cunetta	60	m ^{1/3} /s					
Velocità ipotizzata	0,440	m/s					
Area verde	0	mq					
Area impermeabile	154	coeff.verde	0,7	Q smaltita	0,026801295	mc/s (considerando l'invito)	
Area totale	154	coeff.impermeabile	1		26,801	l/s	
coeff.di deflusso	1						
a	56,5	mm					
n	0,66						
L asta principale	20	(interasse embrici)					
T rete	45,45454545	s					
T accesso	300	(5 minuti)					
Ttot	345,4545455	s					
	0,09596	ore					
intensità di pioggia	125,35	mm/ora					
Q deflusso	0,005362	mc/s					
	5,362	l/s					
"b" larghezza trasv. accumulo	1,561	m					
"h" battente su imbocco	0,016	m					
Velocità calcolata	0,440	m/s					

26,801 l/s > 5,362 l/s → Verificato

Caso 2 – Interno Curva: passo 10 m

Dimensionamento embrice							
<u>Analisi idrologica</u>				<u>Portata smaltita dall'embrice</u>			
Pendenza longitudinale	0,038	(nella direzione del moto)		Larghezza imbocco embrice	0,9	m	
Pendenza trasversale	0,0457	(pendenza trasversale)		Invito embrice	0,05	m	
Scabrezza cunetta	60	m ^{1/3} /s					
Velocità ipotizzata	0,588	m/s					
Area verde	0	mq					
Area impermeabile	91,5	coeff.verde	0,7	Q smaltita	0,031178939	mc/s	(considerando l'invito)
Area totale	91,5	coeff.impermeabile	1		31,179	l/s	
coeff.di deflusso	1						
a	56,5	mm		Q smaltita	0,005409861	mc/s	(non considerando l'invito)
n	0,66				5,410	l/s	
Lasta principale	10	(interasse embrici)					
T rete	17,00680272	s					
T accesso	300	s (5 minuti)					
Ttot	317,0068027	s					
	0,08806	ore					
intensità di pioggia	129,07	mm/ora					
Q deflusso	0,003281	mc/s					
	3,281	l/s					
"b" larghezza trasv. accumulo	0,494	m					
"h" battente su imbocco	0,023	m					
Velocità calcolata	0,588	m/s					

5,410 l/s > 3,281 l/s → Verificato

I fossi 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 0.5 m, comunque variabile in ragione dell'andamento del territorio.

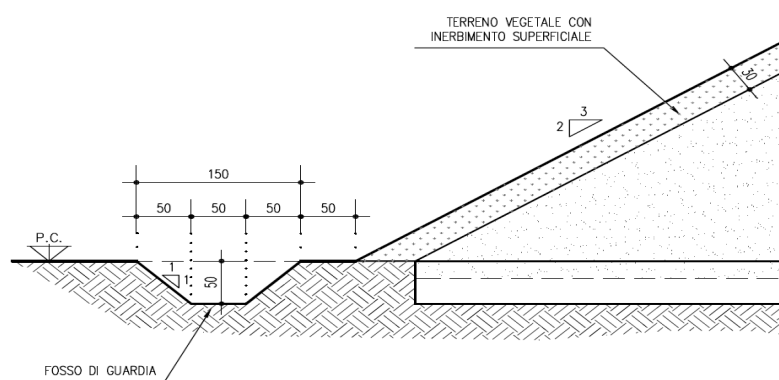


FIGURA 3.2.2 – PARTICOLARE FOSSO DI GUARDIA

In prossimità dei muri di sostegno la raccolta delle acque avviene tramite una canaletta 30cmx30cm con griglia in ghisa classe c250 e convogliata nei fossi di guardia tramite un pozzetto in c.a.v. 60x60cm int. con chiusino in ghisa classe c250 e un tubo in pvc Ø315 con bauletto di protezione in cls.

Per informazioni più dettagliate si rimanda alla planimetria di smaltimento acque.

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 la sezione tipo definita dalla Normativa attuale come "F1-ambito extraurbano" con il relativo intervallo di velocità di progetto (40-100 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 pari a 60 km/h. Il diagramma di velocità delle varianti in progetto dovrà pertanto essere costruito tenendo conto di questi valori.

Per informazioni dettagliate su diagramma di velocità si rimanda all'elaborato specifico.

4. DESCRIZIONE DELLO 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 Mirandola a ridosso della nuova infrastruttura autostradale.

La strada esistente presenta un tracciato prevalentemente in rettilineo in direzione Est-Ovest; la viabilità in progetto si colloca principalmente in sovrapposizione alla viabilità esistente, collegando in comune di Mirandola con il Comune di San Possidonio. Il terreno nella zona dei lavori si presenta pianeggiante e non evidenzia particolari vincoli, se non quelli relativi alla presenza di alcuni fabbricati, di natura abitativa, ai quali deve essere garantito l'accesso.

5. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'intervento di progetto consiste nella deviazione dell'attuale Strada provinciale esistente per mantenere il collegamento tra il territorio a est ed il territorio a ovest della Nuova Autostrada Regionale Cispadana.

Il nuovo asse è stato progettato in larga parte attraverso la sovrapposizione all'attuale sede stradale, prevedendo delle strade laterali per garantire gli accessi alle proprietà private e aggiungendo una pista ciclopedonale in affiancamento alla carreggiata stradale. E' stata garantita la continuità con la rete infrastrutturale esistente.

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 Est-Ovest, prende origine dalla strada esistente e con un andamento rettilineo che supera attraverso un cavalcavia la sede della Nuova Autostrada Cispadana. Tramite una curva di raggio 230 m segue l'andamento del tracciato preesistente e si ricollega alla strada esistente. L'estensione complessiva del tracciato è di 289.10 m.

L'intervento prevede la predisposizione di opportune barriere di sicurezza, la cui scelta è stata effettuata tenendo conto della destinazione di utilizzo della strada, delle caratteristiche geometriche, dell'ubicazione e della composizione di traffico previste. Per il dettaglio relativo alle tipologie di barriere di sicurezza adottate e al loro posizionamento si rimanda agli elaborati specifici allegati al seguente progetto.

Per contenere l'estensione dei rilevati e rispettare le proprietà laterali sono stati previsti due muri di sostegno con le seguenti caratteristiche:

Opera 1:

Lunghezza,	40.00 m
pk iniziale,	16.86 m
pk finale,	57.00 m



AUTOSTRADA
REGIONALE
CISPADANA

REGIONE EMILIA ROMAGNA
AUTOSTRADA REGIONALE CISPADANA
dal casello di Reggio-Rolo sulla A22 al casello di Ferrara Sud sulla A13

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTAZIONE STRADALE

VIABILITA' INTERFERITA

V11 – CAVALCAVIA SP11 DIREZIONE MIRANDOLA

RELAZIONE TECNICA DEL TRACCIATO

Opera 2:

Lunghezza, 23.83 m

pk iniziale, 235.86 m

pk finale, 259.41 m

Per informazioni dettagliate sui muri di sostegno si rimanda all'elaborato specifico.

6. GEOMETRIA DELL'ASSE STRADALE - ANDAMENTO PLANIMETRICO

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

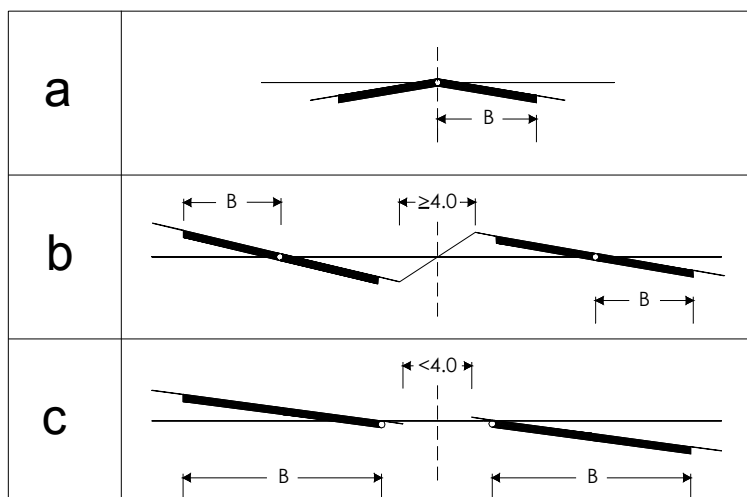


FIGURA 6.1 – ROTAZIONE DELLA CARREGGIATA RISPETTO ALL'ASSE

L'andamento planimetrico della viabilità V11 – Cavalcavia SP11 direzione Mirandola, nell'area di intervento, presenta un tracciato composto da due rettifili collegati da una curva circolare di raggio 230 m preceduta e seguita da raccordi a raggio variabile.

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 F1 con $V_{p,max} = 60 \text{ km/h}$, risulta pari a 1.320 m.

Il rettifilo del quale si compone il tracciato non raggiunge questo valore limite superiore.

Il valore minimo è invece fissato per poter essere correttamente percepito dall'utente, secondo i valori riportati nella tabella seguente (per velocità si intende la velocità massima che si desume dal diagramma di velocità).

TABELLA 6.1.1 – LUNGHEZZA MINIMA DEI RETTIFILI IN FUNZIONE DELLA VELOCITA' DI PROGETTO

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

Nel caso di rettifili di flesso (ovvero rettifili raccordati, mediante clotoidi, a curve di segno opposto, e di lunghezza inferiore al valore minimo di cui sopra), è possibile inserire un rettifilo di lunghezza non superiore al valore risultante dalla somma del parametro delle clotoidi - a monte ed a valle del rettifilo - diviso 12,5. L'andamento planimetrico del tracciato è composto da rettifili e curve circolari e ha uno sviluppo complessivo di circa 384 metri.

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:

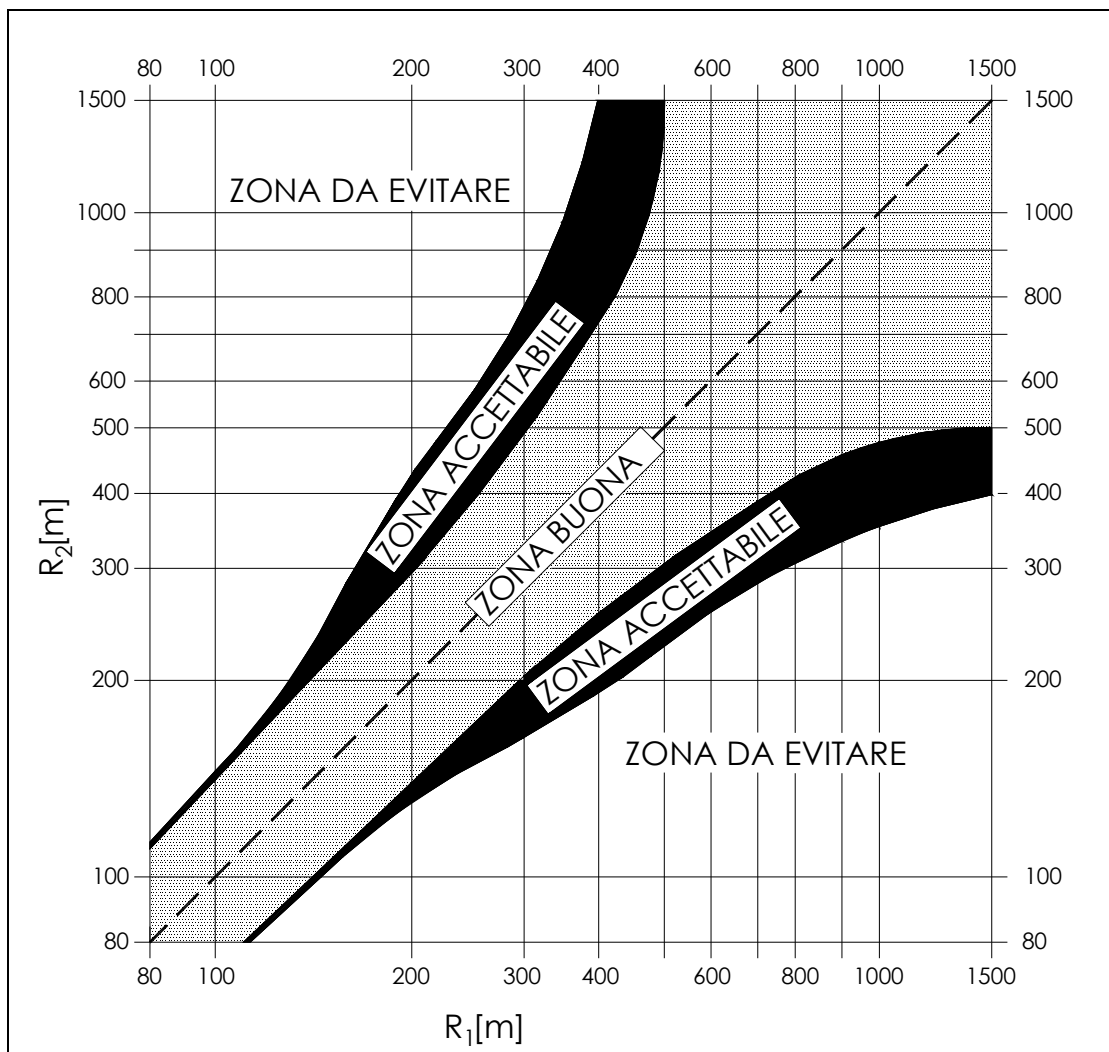


FIGURA 6.2.1 – ABACO RAPPORTI TRA RAGGI DI CURVATURA SUCCESSIVI

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

6.3. PENDENZE TRASVERSALI NEI RETTIFILI E NELLE CURVE CIRCOLARI

La pendenza minima trasversale in rettilineo 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 pista ciclabile ha invece pendenza dell'1% verso l'esterno e non segue la pendenza della carreggiata ma anche nei tratti in curva la pista ciclabile mantiene la pendenza dell'1% verso l'esterno.

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:

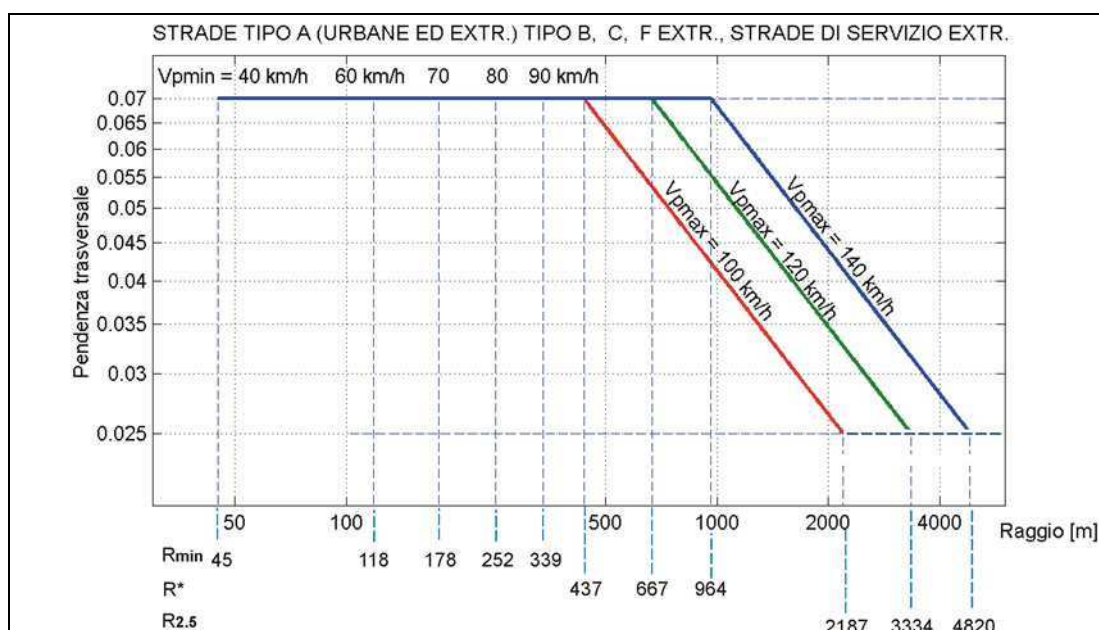


FIGURA 6.3.2 – RAPPORTO RAGGI DI CURVATURA, VELOCITA' DI PROGETTO, PENDENZA TRASVERSALE

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 rettifilo, di lunghezza L_r , ed il raggio R più piccolo fra quelli delle due curve collegate al rettifilo 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 rettifilo. 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 non sono stati previsti allargamenti per l'iscrizione lungo le curve circolari in quanto la curva di raggio 230m produce un allargamento inferiore a 20cm.

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:

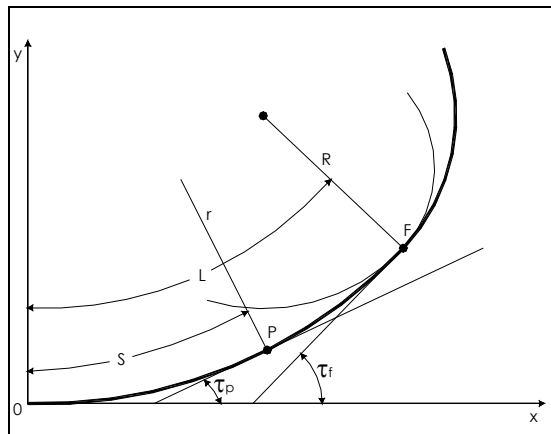


FIGURA 6.6.1 – ESEMPIO DI CURVA CLOTOIDE

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 (contraccolpo) 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:

- criterio della limitazione del contraccolpo, che con le opportune semplificazioni e assunzioni assume la forma pratica pari a

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

- criterio 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:

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

- criterio 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 rettifilo), la continuità (successione di curve circolari di verso uguale senza rettifili intermedi) e il raccordo tra due cerchi secanti mediante cerchio ausiliario.

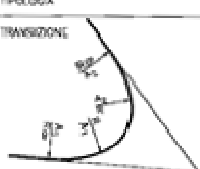
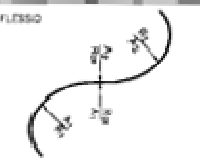


TIPOLOGIA	LIMITI
	$R_1 \geq A_{max}$ $R_2 \geq A_{max}$ $\frac{R_1}{3} < A_1 < R$ $\frac{R_2}{3} < A_2 < R$ $\frac{R_1}{3} < \frac{A_1}{A_2} < \frac{R}{3}$
	$R_1 < R_2$ $A_1 \geq A_{max}$ $A_2 \geq A_{max}$ FLESSO ASIMMETRICO $A_1 \neq A_2$ $\frac{R_1}{3} < A_1 < R_1$ $\frac{R_2}{3} < A_2 < R_2$ $\frac{R_1}{3}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

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.

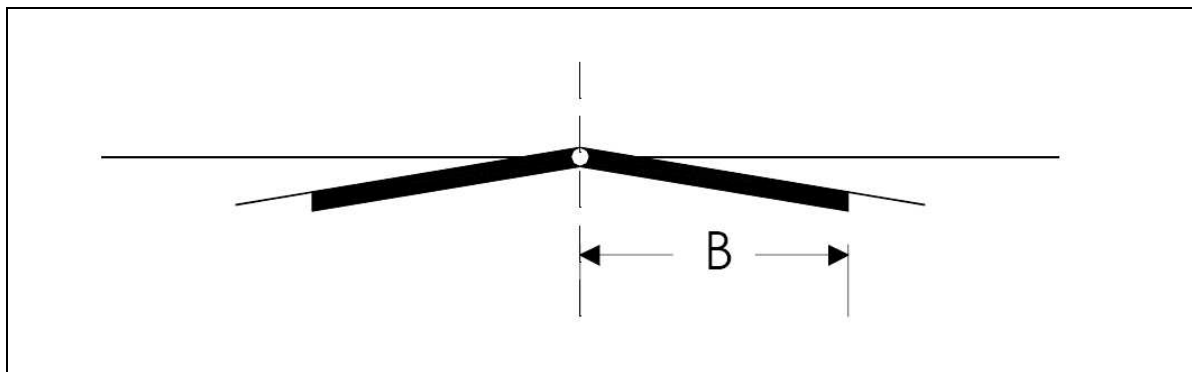


FIGURA 6.8.1 - PENDENZA TRASVERSALE LUNGO LE CLOTOIDI

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];

l_{qi} = valore assoluto della pendenza trasversale all'inizio dell'arco di clotoide [%];

l_{qf} = 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. Ai paragrafi 6.9 e 6.10.

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.

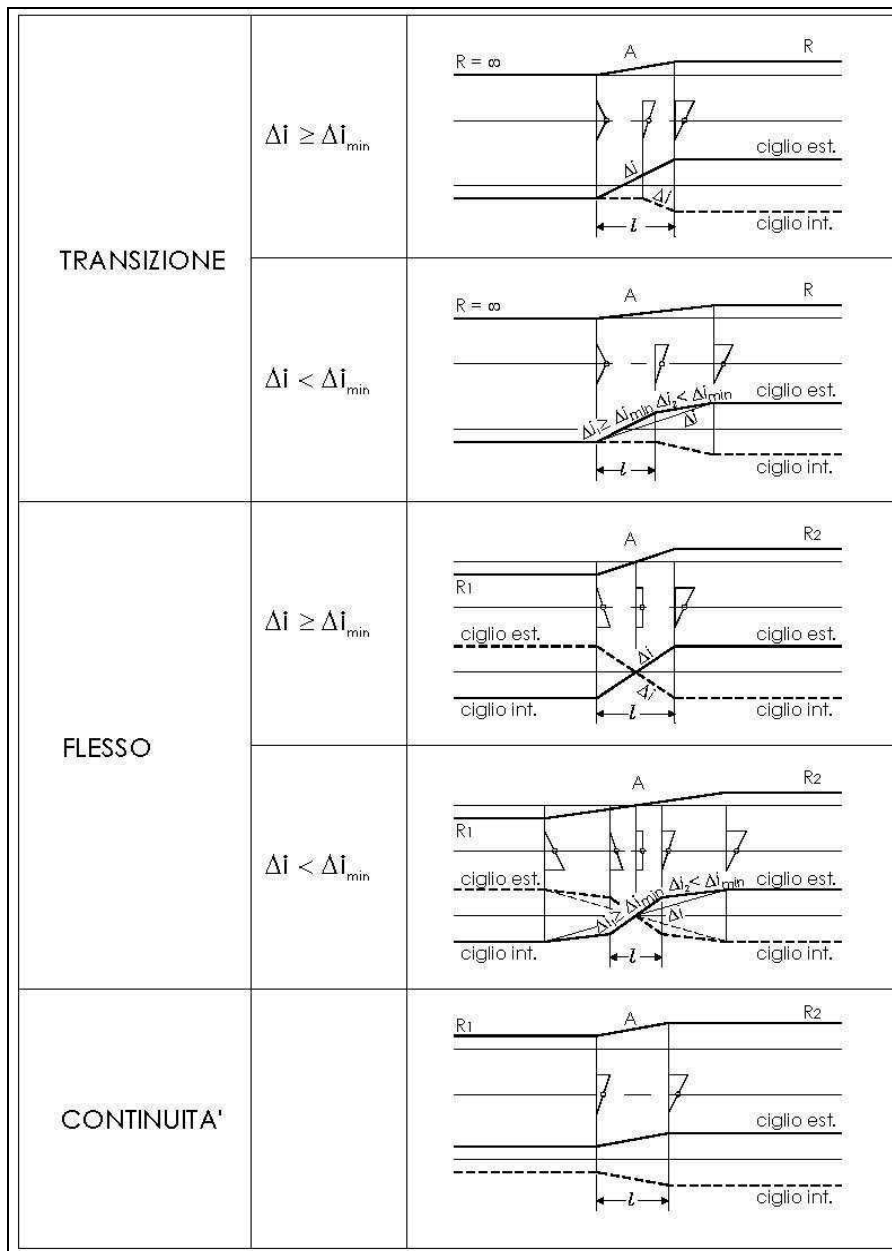


FIGURA 6.10.1 - VALORI MINIMI DI SOPRAPENDENZA

6.11. VERIFICHE ANDAMENTO PLANIMETRICO

Di seguito viene riportata la tabella contenente le verifiche planimetriche di tracciato.

CAVALCAVIA SP 11-da sez11 a sez21							
Dati generali sul tracciato SP11							
Progressiva Iniziale (m): 0.00000000				Lunghezza (m) : 289.10117527			
Progressiva Finale (m): 289.10117527							
Strada Tipo : C1 Strada extraurbana secondaria							
Intervallo di Velocità di progetto (Km/h): 60 <= Vp <= 100							
Rettifilo 1 ProgI 0.00000000 - ProgF 156.68015783							
Coordinate P.to Iniziale X:		203602.83954773		Coordinate P.to Finale X:		203753.17985283	
Y:		206642.89635161		Y:		206687.01510635	
Lunghezza :		156.68015783		Azimut :		18.17201642g	
Vp (Km/h) = 60.0							
L >= Lmin =50.00000000 OK							
L <= Lmax =1320.00000000 OK Rsucc =230.00000000 Rsucc > Rmin =156.68000000 OK							
Curva 2 Destra ProgI 156.68015783 - ProgF 262.09059219							
Coordinate vertice X:		203804.15760279		Coordinate I punto Tg X:		203753.17985283	
Y:		206701.97499916		Coordinate I punto Tg Y:		206687.01510635	
Coordinate vertice Y:		206701.97499916		Coordinate II punto Tg X:		203857.18697862	
				Coordinate II punto Tg Y:		206698.74782035	
Tangente Prim. 1:		40.21865268		TT1 Tangente 1:		53.12748238	
Tangente Prim. 2:		40.21865268		TT2 Tangente 2:		53.12748238	
Alfa Ang. al Vert.:		177.95851471g		Numero Archi :		1	
Clotoide in entrata ProgI 156.68015783 - ProgF 182.45841869							
Coordinate vertice X:		203769.67268497		Coordinate I punto Tg X:		203753.17985283	
Y:		206691.85508068		Coordinate I punto Tg Y:		206687.01510635	
Coordinate vertice Y:		206691.85508068		Coordinate II punto Tg X:		203778.04282670	
				Coordinate II punto Tg Y:		206693.80964717	
Raggio :		230.00000000		Angolo :		3.56759795g	
Parametro N :		1.00000000		Tangente lunga :		17.18833511	
Parametro A :		77.00000000		Tangente corta :		8.59532446	
Scostamento :		0.12037033		Sviluppo :		25.77826087	
Pti (%) :		-2.5		Ptf (%) :		4.6	
Vp (Km/h) = 60.0							
A >= radq[(Vp^3-gVR(Ptf-Pti))/c] = 48.400 OK							
A >= radq(R/dimax*Bi* Pti-Ptf *100) = 73.600 OK							
A >= R/3 = 76.700 OK				A/Au = 1.000 A/Au >= 2/3 = 0.670 OK			
A <= R = 230.000 OK				A/Au = 1.000 A/Au <= 3/2 = 1.500 OK			



Arco ProgI 182.45841869 - ProgF 236.31233132					
Coordinate vertice	X:	203804.38480307	Coordinate I punto Tg X:	203778.04282670	
Coordinate vertice	Y:	206699.96093423	Coordinate I punto Tg	Y: 206699.80964717	
Coordinate centro curva	X:	203830.34455141	Coordinate II punto Tg X:	203831.43515609	
Coordinate centro curva	Y:	206469.83525222	Coordinate II punto Tg	Y: 206699.83266652	
Raggio	:	230.00000000	Angolo al vertice	:	14.90628939g
Tangente	:	27.05065714	Sviluppo	:	53.85391262
Saetta	:	1.57442000	Corda	:	53.73097431
Pt (%)	:	4.6			
Vp (Km/h) = 60.0					
R >= Rmin	=	44.994	OK		
Sv >= Smin	=	41.670	OK		
Pt >= Ptmin	=	4.570	OK		

Clotoide in uscita ProgI 236.31233132 - ProgF 262.09059219					
Coordinate vertice	X:	203840.03038393	Coordinate I punto Tg X:	203831.43515609	
Coordinate vertice	Y:	206699.79190956	Coordinate I punto Tg	Y: 206699.83266652	
			Coordinate II punto Tg X:	203857.18697862	
			Coordinate II punto Tg	Y: 206698.74782035	
Raggio	:	230.00000000	Angolo	:	3.56759795g
Parametro N	:	1.00000000	Tangente lunga	:	17.18833511
Parametro A	:	77.00000000	Tangente corta	:	8.59532446
Scostamento	:	0.12037033	Sviluppo	:	25.77826087
Pti (%)	:	4.6	Ptf (%)	:	-2.5
Vp (Km/h) = 60.0					
A >= radq[(Vp^3-gVR(Ptf-Pti))/c]	=	48.400	OK		
A >= radq(R/dimax*Bi* Pti-Ptf *100)	=	73.600	OK		
A >= R/3	=	76.700	OK	Ae/A = 1.000	Ae/A >= 2/3 = 0.670 OK
A <= R	=	230.000	OK	Ae/A = 1.000	Ae/A <= 3/2 = 1.500 OK

Rettifilo 3 ProgI 262.09059219 - ProgF 289.10117527					
Coordinate P.to Iniziale	X:	203857.18697862	Coordinate P.to Finale X:	203884.14768328	
	Y:	206698.74782035		Y: 206697.10708796	
Lunghezza	:	27.01058309	Azimet	:	396.13053113g
Vp (Km/h) = 60.0					
L >= Lmin	=	50.00000000	No	Rprec =230.00000000	Rprec > Rmin =27.01000000 OK
L <= Lmax	=	1320.00000000	OK		

Occorre evidenziare come il rettilineo che non verificano la lunghezza minima (Rettifilo 3) sia comunque accettato in quanto ripercorre la viabilità esistente. La lunghezza di tale rettilineo dovrebbe essere considerata anche tenendo conto del rettilineo esistente su cui la viabilità di progetto si collega.

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:

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

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 Statale 12, 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.

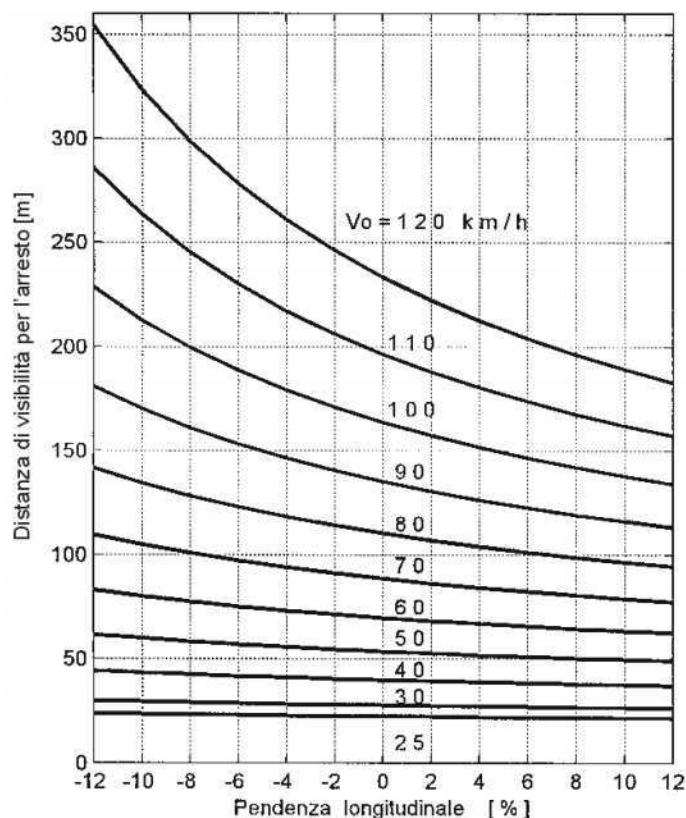


FIGURA 7.2.2 – DISTANZA DI VISIBILITA' PER L'ARRESTO IN FUNZIONE DI V_p E PENDENZA LONGITUDINALE

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

In prossimità della curva di raggio 230 m è stato previsto un allargamento di 15 cm costante lungo tutto lo sviluppo della curva e variabile in coltoide che si annulla in prossimità dell'inizio dei rettilinei precedente e successivo.

La verifiche di visibilità condotte hanno restituito esito positivo in entrambe le direzioni come si evince dalla figura seguente:

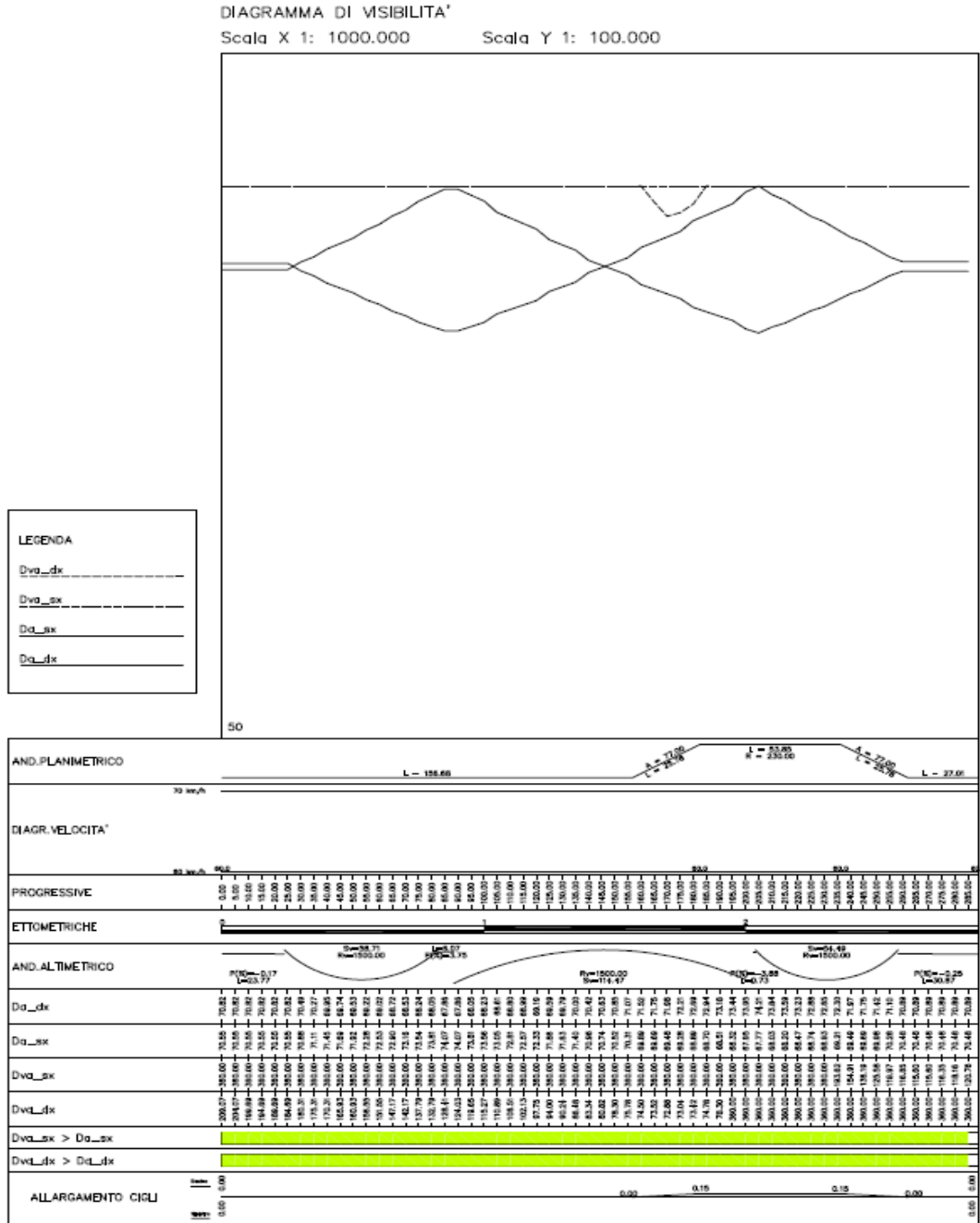


FIGURA 7.2.3 – ESITO DELLE VERIFICHE DELLE DISTANZE DI VISIBILITA' PER L'ARRESTO

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 F1, strada extraurbana secondaria, la pendenza massima da normativa si attesta ad un valore pari al 10.00 %.

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. Come riportato nel paragrafo 3.3 la velocità di progetto è di 60 km/h, valore compreso nell'intervallo di velocità previsto dalla normativa.

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.

Per informazioni più dettagliate sul profilo altimetrico si rimanda all'elaborato specifico.

8.3. VERIFICHE ALTIMETRICHE

L'andamento altimetrico del tracciato presenta una pendenza massima del 3.884 %. I raccordi parabolici utilizzati sono di raggio maggiore rispetto ai minimi imposti dal D.M. 5/11/2001 come si evince dalle seguenti figure. Tutte le verifiche plano-altimetriche risultano dunque verificate.

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
▶	1	Parabolico	1500.000000	3.91377208	58.71973045	23.76743605	82.47401726	58.70658121	<input type="checkbox"/>	60.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	1448.193547	
	2	Parabolico	1500.000000	-7.63105883	114.4936826	88.54860982	203.0144922	114.4658824	<input type="checkbox"/>	60.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	1483.415809	
	3	Parabolico	1500.000000	3.63285664	54.50749360	203.7428524	258.2357020	54.49284962	<input type="checkbox"/>	60.00000000	<input checked="" type="checkbox"/>	1368.844614	

FIGURA 8.3.1 – RACCORDI PARABOLICI TRA LE LIVELLETTE DEL TRACCIATO

Pendenza longitudinale i % della sede stradale:

Rampa Ovest **3.747%**

Rampa Est **3.884%**

Raggio minimo raccordo verticale convessi **1500.00 m**

Raggio minimo raccordi verticali concavi **1500.00 m**

Pendenza trasversale max **4.57%**

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 sulle 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.

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

10. COORDINAMENTO PLANO-ALTIMETRICO

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 dà esito positivo.