

Struttura Territoriale Emilia Romagna
Viale A. Masini, 8 – 40126 Bologna T [+30] 051 6301111 – F [+39] 051 244970
Pec anas.emiliaromagna@postacert.stradeanas.it – www.stradeanas.it

**S.S. 67 "Tosco-Romagnola"
Adeguamento da Classe al Porto di Ravenna**

STUDIO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

PROGETTISTI:
Zollet Ingegneria Srl

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

IL GEOLOGO



COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

PROTOCOLLO

DATA

**PARTE GENERALE
Relazioni
Relazione tecnica progetto stradale**

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T00EG00TRARE01B.doc		
B O U P 5 6	F	1 9 - -	CODICE ELAB. T 0 0 E G 0 0 T R A R E 0 1	B	-
B	2a EMISSIONE		Luglio 2020	L. De Carli	M. Zanchettin L. Zollet
A	EMISSIONE		Maggio 2020	A. De Lullo	M. Zanchettin L. Zollet
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO



Comune di RAVENNA (RA)

Adeguamento da Classe al Porto di Ravenna
Prestazione di servizi tecnici per la redazione dello studio di fattibilità tecnica ed economica, progetto definitivo ed esecutivo.

STUDIO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

Lavori di adeguamento da Classe al Porto di Ravenna

RELAZIONE TECNICA PROGETTO STRADALE

INDICE

1	INTRODUZIONE	4
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
3	PROGETTO STRADALE	6
3.1	VIABILITÀ	6
3.2	INTERSEZIONI	7
3.3	SVINCOLO DI PORTO FUORI	9
3.3.1	Rampe bidirezionali	9
3.3.2	Corsia di entrata nella S.S.67	10
3.3.3	Corsia di uscita dalla S.S.67	11
3.4	ACCESSI E AREE DI SERVIZIO	14
3.5	VERIFICHE TRACCIATO STRADALE	15
3.5.1	Geometria dell'asse stradale: andamento planimetrico	15
3.5.2	Rettifili	
3.5.3	Curve circolari	16
3.5.4	Pendenze trasversali nei rettifili e nelle curve circolari	16
3.5.5	Curve a raggio variabile	18
3.5.5.1	Limitazione del contraccolpo	18
3.5.5.2	Limitazione variazione pendenza trasversale	19
3.5.5.3	Percezione ottica corretta	19
3.5.6	Raccordi verticali	20
3.5.7	Raccordi concavi	20
3.5.8	Raccordi convessi	21
3.5.8.1	Diagramma delle velocità	21
3.5.8.2	Lunghezza di transizione	21
3.5.8.3	Esame del diagramma delle velocità	21
3.5.9	Allargamento curva ad inizio intervento (PK 218 + 550)	23
3.5.9.1	Caso 1: Allargamento corsie	23
3.5.9.2	Caso 2: Adeguamento limite di velocità	23
3.6	DIMENSIONAMENTO PAVIMENTAZIONE STRADALE	24
3.6.1	Calcolo del numero di assi standard – Traffico sopportabile	25
	Indice di servizio PSI (Present Serviceability Index)	25
	Affidabilità R	26
	Portanza del sottofondo	27
	Indice strutturale SN	29

3.6.2	Calcolo del numero di assi standard equivalente	31
3.6.3	Verifica	
4	ANALISI DI SICUREZZA	38
4.1	OGGETTO	38
4.2	INDICAZIONI GLOBALI DI SICUREZZA PER LA VIABILITÀ PRINCIPALE	38
4.2.1	Distanze di arresto	38
4.2.2	Distanze di visuale libera	38
4.2.3	Sezione trasversale	39
4.2.4	Barriere di sicurezza	39
4.3	CONCLUSIONI	39
5	TABULATI DI CALCOLO	41

1 INTRODUZIONE

La S.S. 67 "Tosco-Romagnola" collega la città di Pisa con la città di Ravenna, attraversando lungo il suo itinerario l'Appennino tosco-romagnolo in corrispondenza del "Passo del Muraglione", per poi entrare in Romagna presso l'area urbana di Forlì.

L'ambito di competenza dell'Area Compartimentale Emilia Romagna si sviluppa per un'estesa di circa 86 km, compresi tra il km 142+460 (confine con la Regione Toscana) e il km 213+511 (innesto lungo la S.S. 16 presso Ravenna), e tra il km 217+277 ed il km 232+377 (via Classicana – dalla S.S. 146 al Porto di Ravenna).

Per migliorare la funzionalità di tale nodo di interconnessione sono previsti alcuni interventi, tra cui quello in progetto, che costituiranno un vero e proprio raccordo anulare riqualificato attorno a Ravenna, consentendo il miglioramento del collegamento del porto verso tutte le direttrici sopracitate.

L'intervento in oggetto prevede l'adeguamento della S.S.67 (attualmente classificata come strada di tipo C) dallo svincolo presso la località Classe, sulla tangenziale di Ravenna, fino al porto, prevedendone l'ampliamento della sezione per conformarla al D.M. 05/11/2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade".

Il tratto in oggetto ha inizio al km 218+550, immediatamente a valle dello svincolo di innesto con la S.S. 146 e termina in corrispondenza dello svincolo di Marina di Ravenna al km 223+200, per uno sviluppo complessivo di circa 4,65 km.

Per il diretto collegamento dei traffici fra il Porto Industriale di Ravenna e la circonvallazione alla città lungo la S.S.146 "Adriatica", è stato predisposto il progetto di massima della variante in oggetto, approvato dal Consiglio di Amministrazione dell'Anas nell'adunanza del 28 giugno 1966.

In conformità di tale progetto, fu poi elaborato il progetto esecutivo del primo lotto della variante compreso tra la strada comunale di Porto Fuori ed il Porto Industriale.

Successivamente, per il completamento della variante, è stato redatto il progetto del Lotto II che comprende il tratto tra l'innesto con la S.S.146 presso Classe e l'innesto con il Lotto I in corrispondenza dell'intersezione con la Strada Comunale di Porto Fuori.

Il tracciato ha uno sviluppo complessivo pari a 7343,50 m di cui 3985,30 m per il lotto I e 3358,16 m per il lotto II. Il Lotto I di tale variante è compreso tra il km 222+564 della S.S.67 (Porto Industriale di Ravenna) e la provinciale di Porto Fuori con la quale è stato realizzato un innesto a raso. Il Lotto II di tale variante è compreso tra l'innesto con la S.S.146 presso Classe e l'innesto con la strada comunale di Porto Fuori.

2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Si è fatto riferimento a quanto previsto dalla seguente Normativa vigente:

- Nuovo Codice della Strada – DL 30 Aprile 1992 e successive modifiche e integrazioni;
- Regolamento di esecuzione e di attuazione del Nuovo Codice della Strada – DPR 16 Dicembre 1992 e successive modifiche e integrazioni.

Per il tracciamento plano-altimetrico dei singoli assi si è preso come riferimento verso cui tendere quanto previsto da:

- Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade – DM 5 Novembre 2001 e successive modifiche e integrazioni.
- Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali – D.M. 19 aprile 2006.
- Norme sulle caratteristiche geometriche e di traffico delle intersezioni stradali urbane – Norme Tecniche CNR 15 Aprile 1983 N. 90;
- Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali (bozza 2001) – a cura della Commissione di studio per le Norme relative ai materiali stradali e progettazione, costruzione e manutenzione strade del CNR.

3 PROGETTO STRADALE

3.1 VIABILITÀ

La viabilità definita per il presente progetto apparterrà alla rete ordinaria principale, per la quale è prevista, generalmente, un'unica piattaforma stradale bidirezionale adottando la soluzione base a 2 + 2 corsie di marcia conforme alla categoria B – strade extraurbane principali, con la seguente suddivisione della piattaforma per ciascun senso di marcia:

- 2 corsie per senso di marcia di larghezza pari a 3.75 m;
- 1 banchina laterale per senso di marcia di larghezza pari a 1.75 m;

La larghezza complessiva minima per questo tipo di piattaforma di progetto risulta essere di 22.00 m. Le carreggiate sono attualmente indipendenti e separate da uno spartitraffico che andrà adeguato sostituendolo con la tipologia NDBA (National Dynamic Barrier Anas).

Le dimensioni della piattaforma vengono modificate lungo il tratto in sede naturale (rilevato) mentre in corrispondenza di opere d'arte (viadotti) la carreggiata rimarrà inalterata rispetto all'esistente.

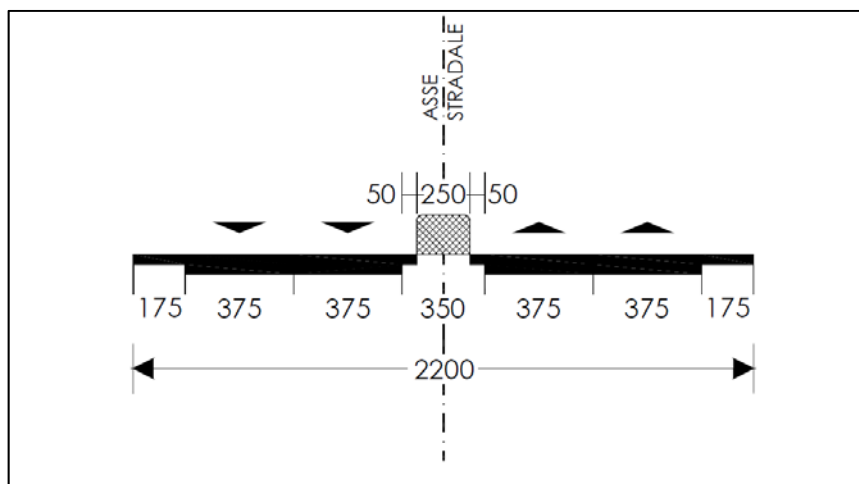


Figura 1: Categoria B Strada extraurbana principale – soluzione base a 2 + 2 corsie di marcia

Nei tratti in rettilineo si mantiene la pendenza trasversale esistente, adeguando alla pendenza del 2,00 % le due fasce laterali di nuova realizzazione (ampliamento); nei tratti in curva, la pendenza trasversale esistente viene adeguata a quanto prescritto dalla norma di riferimento, su tutta la larghezza della piattaforma stradale.

La larghezza della piattaforma subisce allargamenti ove sia necessario garantire una maggiore visuale libera. Ciò avviene, generalmente, all'interno delle curve, qualora il basso raggio di curvatura del tracciato unitamente ad eventuali ostacoli alla visibilità presenti ai margini della piattaforma impediscano la minima distanza di visuale richiesta.

Tale allargamento si ottiene adeguando la piattaforma esistente ad una di categoria B ossia incrementando la dimensione trasversale della corsia e della banchina con conseguente arretramento dell'eventuale dispositivo di sicurezza di ritenuta.

Lungo i tratti in rilevato è prevista inizialmente la rimozione di uno strato superficiale del terreno esistente per uno spessore di 0.20 m sia lungo la scarpata sia alla base dove viene previsto l'allargamento.

Il pacchetto di fondazione dell'allargamento del rilevato prevede inizialmente uno strato di bonifica dello spessore di 30 cm e immediatamente sopra lo strato anticapillare in sabbia dello stesso spessore ed infine viene steso il rilevato stradale di materiale idoneo.

Nei casi in cui il piano di posa dei rilevati risultasse di scarsa portanza, si procede con un ulteriore trattamento dei successivi 0.30 m con leganti idraulici (trattamento a calce), la successiva posa di uno strato di geotessuto, rivoltato opportunamente ai margini e, al di sopra di questo, la stesa dei 0.20 m di materiale arido anticapillare (sabbia) anzidetto. Le scarpate laterali del rilevato, di pendenza 2/3, vengono rivestite con uno strato di terreno vegetale dello spessore di 0.30 m, sottoposto in seguito ad idrosemina per caratterizzare a verde il pendio.

Qui di seguito viene rappresentata la sezione tipologica:

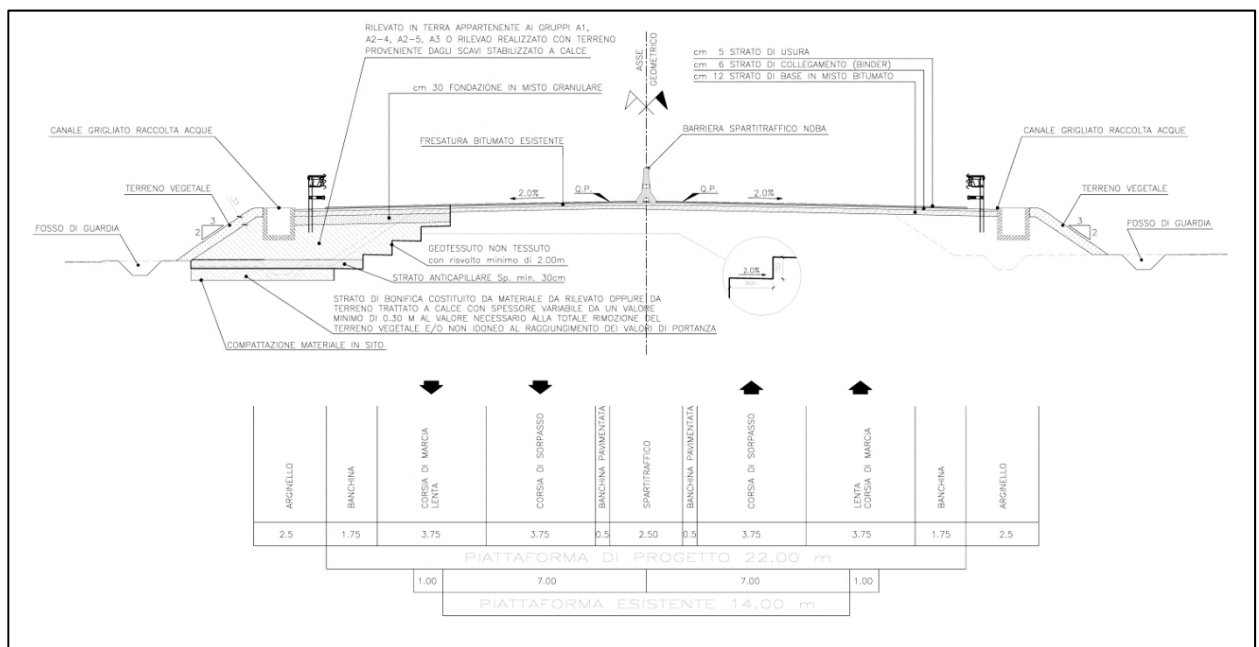


Figura 2: Sezione tipologica

Su entrambi i lati della piattaforma di progetto sono previsti cigli erbosi aventi dimensione minima, complessiva di raccordo con la scarpata di 2,50 m entro il quale viene installato il dispositivo di sicurezza (guard-rail).

L'allontanamento delle acque meteoriche che si depositano sulla piattaforma stradale viene effettuato tramite delle canalette grigliate prefabbricate in ghisa sferoidale disposte parallelamente alla carreggiata nella zona dell'arginello.

3.2 INTERSEZIONI

Lo stato di fatto della viabilità presenta delle intersezioni a raso, ovvero accessi privati, agricoli e di viabilità alternativa. La quasi totalità degli accessi (a meno di 5 su 32 che saranno mantenuti) in questa fase andranno opportunamente chiusi in modo tale da permetterne l'adeguamento. Il presente progetto prevedrà anche una tavola grafica in cui sono opportunamente definiti gli accessi che dovranno essere soppressi e quelli invece

mantenuti; in dettaglio riportiamo qui di seguito in forma tabellare tale suddivisione:

N. Accesso	Tipologia	Km S.S. 67	Lato	Stato	Particella	Km S.S. 67 [km]	Km S.S. 67 [m]	Progressiva [m]	
Inizio intervento		218+550					218,550	218550	5150,00
1	Accesso agricolo	218+850	Sinistro	Soppressione	Fg. 184 - n.30	218,850	218850	4850,00	
2	Accesso agricolo	218+850	Destro	Soppressione	Fg. 184 - n.79	218,850	218850	4850,00	
3	Accesso viabilità esistente	219+200	Sinistro	Soppressione	-	219,200	219200	4500,00	
4	Accesso viabilità alternativa	219+200	Destro	Mantenimento	-	219,200	219200	4500,00	
5	Accesso privato	219+300	Destro	Soppressione	Fg. 165 - n.27/27+	219,300	219300	4400,00	
6	Accesso privato	219+450	Sinistro	Soppressione	Fg. 165 - n.138/138+	219,450	219450	4250,00	
7	Accesso agricolo	219+450	Destro	Soppressione	Fg. 165 - n.25/25+	219,450	219450	4250,00	
8	Accesso agricolo	219+500	Sinistro	Soppressione	Fg. 165 - n.237	219,500	219500	4200,00	
9	Accesso agricolo	219+500	Destro	Soppressione	Fg. 165 - n.313	219,500	219500	4200,00	
10	Accesso privato	219+600	Sinistro	Soppressione	Fg. 165 - n.167/168	219,600	219600	4100,00	
11	Accesso agricolo	219+600	Destro	Soppressione	Fg. 165 - n.315	219,600	219600	4100,00	
12	Accesso agricolo	219+650	Sinistro	Soppressione	Fg. 165 - n.136	219,650	219650	4050,00	
13	Accesso agricolo	219+650	Destro	Soppressione	Fg. 165 - n.21	219,650	219650	4050,00	
14	Accesso agricolo	219+750	Sinistro	Soppressione	Fg. 165 - n.154/154+	219,750	219750	3950,00	
15	Accesso privato	219+750	Destro	Soppressione	Fg. 165 - n.33	219,750	219750	3950,00	
16	Accesso privato	219+850	Sinistro	Soppressione	Fg. 165 - n.293	219,850	219850	3850,00	
17	Accesso agricolo	219+850	Destro	Soppressione	Fg. 165 - n.87	219,850	219850	3850,00	
18	Accesso agricolo	220+020	Sinistro	Soppressione	Fg. 165 - n.238	220,020	220020	3680,00	
19	Accesso agricolo	220+020	Destro	Soppressione	Fg. 165 - n.233	220,020	220020	3680,00	
20	Accesso agricolo	220+150	Sinistro	Soppressione	Fg. 165 - n.216	220,150	220150	3550,00	
21	Accesso agricolo	220+150	Destro	Soppressione	Fg. 165 - n.8	220,150	220150	3550,00	
22	Accesso agricolo	220+250	Sinistro	Soppressione	Fg. 165 - n.159/160	220,250	220250	3450,00	
23	Accesso agricolo	220+250	Destro	Soppressione	Fg. 165 - n.122	220,250	220250	3450,00	
24	Accesso viabilità alternativa	220+600	Sinistro	Mantenimento	-	220,600	220600	3100,00	
25	Accesso viabilità esistente	220+600	Destro	Soppressione	-	220,600	220600	3100,00	
26	Accesso agricolo	221+650	Sinistro	Soppressione	Fg. 129 - n.416	221,650	221650	2050,00	
27	Accesso privato (Anas)	221+750	Sinistro	Soppressione	-	221,750	221750	1950,00	
28	Area di servizio	222+150	Sinistro	Mantenimento	Fg. 108 - n.363/363+	222,150	222150	1550,00	
29	Accesso privato	222+350	Sinistro	Soppressione	Fg. 108 - n.497/497+	222,350	222350	1350,00	
30	Accesso privato	222+580	Destro	Soppressione	Fg. 107 - n.29	222,580	222580	1120,00	
31	Accesso privato	222+800	Sinistro	Soppressione	-	222,800	222800	900,00	

32	Accesso privato	222+800	Destro	Soppressione	-	222,800	222800	900,00
33	Accesso privato	223+270	Destro	Soppressione	-	223,270	223270	430,00
Fine intervento		223+700				223,700	223700	0,00

Tabella 1: Censimento accessi agricoli/privati

3.3 SVINCOLO DI PORTO FUORI

Lo svincolo di Porto Fuori si trova all'interno del Lotto II il quale permette di collegare mediante intersezione a livelli sfalsati la viabilità della S.S. 67 e la strada comunale di Porto Fuori.

Tale intersezione si presenta a quattro braccia, a due livelli, con incroci a raso sulla strada di gerarchia inferiore e con rampe bidirezionali su due soli quadranti collocate in modo dissimmetrico rispetto la via di gerarchia superiore.

3.3.1 Rampe bidirezionali

Le rampe per entrambi i sensi di marcia si sviluppano in rilevato e la velocità di progetto dello svincolo è definito dal D.M. 2006 ed è pari a 40 km/h in uscita e 30 km/h in entrata, in quanto rampe indiretta, come richiesto dalla seguente figura:

Tipi di rampe	Intersezioni Tipo 1 (fig.3), escluse B/B, D/D, B/D, D/B.		Intersezioni Tipo 2 (fig.3), e B/B, D/D, B/D, D/B.	
Diretta	50-80 km/h		40-60 km/h	
Semidiretta	40-70 km/h		40-60 km/h	
Indiretta	in uscita da A	40 km/h	in uscita dalla strada di livello ger. superiore	40 km/h
	in entrata su A	30 km/h	in entrata sulla strada di livello ger. superiore	30 km/h

Tabella 2: Velocità di progetto per le varie tipologie di rampe

Velocità di progetto	(km/h)	30	40	50	60	70	80
Raggio planimetrico minimo	(m)	25	45	75	120	180	250
Pendenza max in salita	(%)	10	7,0		5,0		
Pendenza max in discesa	(%)	10	8,0		6,0		
Raggi minimi verticali convessi	(m)	500	1000	1500	2000	2800	4000
Raggi minimi verticali concavi	(m)	250	500	750	1000	1400	2000
Distanza di visuale minima	(m)	25	35	50	70	90	115

Tabella 3: Caratteristiche plano-altimetriche delle rampe

Essendo che si preferisce, per quanto possibile mantenere la configurazione attuale delle rampe e verificando che quest'ultime hanno un raggio planimetrico di 25 - 45 m si adotta una velocità di progetto di 40 km/h con un raggio di progetto $R=45$ m per le rampe in uscita ed immissione rispetto alla strada principale di tipo B, raccordata attraverso delle clotoidi, mentre per l'uscita e l'immissione nella strada secondaria si è voluto mantenere per quanto possibile il tracciato esistente, ove non è stato possibile, il raggio di progetto è stato assunto pari a 30 m.

3.3.2 Corsia di entrata nella S.S.67

La corsia di entrata (o di immissione) è costituita dai seguenti tratti (**Figura 3**):

- Tratto di accelerazione $L_{a,e}$
- Tratto di immissione $L_{i,e}$
- Tratto di raccordo $L_{v,e}$

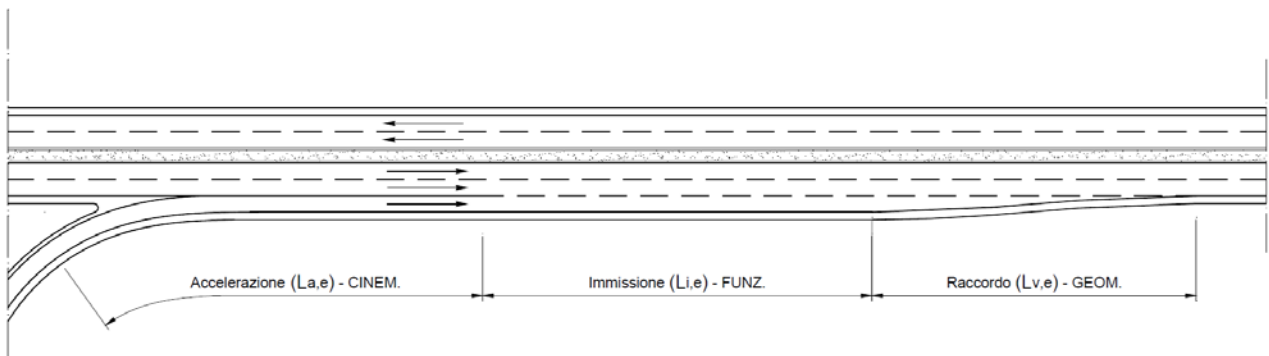


Figura 3: Elementi della corsia di entrata (D.M. 19/04/2006)

Tratto di accelerazione

Seguendo le indicazioni fornite dalla DM 19/04/2006 (Tabella 2) si assume come limite di velocità lungo la rampa $v = 40$ km/h.

Il tratto di accelerazione $L_{a,e}$, che come si vede dalla Figura 3 comprende anche la clotoide in uscita del raccordo circolare, viene dimensionato in base a criteri cinematici secondo la seguente formula:

$$L = \frac{v_1^2 - v_1'^2}{2a}$$

dove:

- v_1 = velocità in uscita dal tratto di accelerazione in m/s. Essa, da normativa, è assunta pari all'80% della velocità di progetto della strada principale nella quale ci si immette. In questo caso la velocità di progetto è pari a $v_p = 120$ km/h quindi $v_1 = 0.80 \cdot 120 = 96$ km/h = 26.67 m/s;

- v_2 = velocità in entrata nel tratto di accelerazione, nel nostro caso 40 km/h = 11.11 m/s come previsto per le rampe di tipo diretto per le intersezioni di tipo 2 (Tabella 2)
- $a = 1.0 \text{ m/s}^2$

$$L_{a,e} = (26.67^2 - 11.11^2) / 2 \cdot 1 = 294 \text{ m}$$

Tratto di immissione $L_{i,e}$

Il calcolo si è effettuato tramite la formulazione fornita da Anas come segue:

$$L_i = (Q - 700) \cdot \frac{V_2}{100}$$

Indicando con $V_2 = 40 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ la velocità di progetto della rampa e Q la portata dell'ora di punta all'anno della strada principale. Siccome la portata dell'ora di punta considerata non supera i 700 veic/h, la lunghezza di immissione si considera assunta pari a 0.

$$L_i = 0 \text{ m}$$

Tratto di raccordo $L_{v,e}$

$L_{v,e} = 75,00 \text{ m}$, come da indicazioni in Normativa DM 19/04/2006 per strade di tipo B

3.3.3 Corsia di uscita dalla S.S.67

La corsia di uscita (o di diversione) è costituita dai seguenti tratti (**Figura 4**):

- Tratto di manovra di lunghezza $L_{m,u}$
- Tratto di decelerazione di lunghezza $L_{d,u}$ parallelo all'asse principale della strada

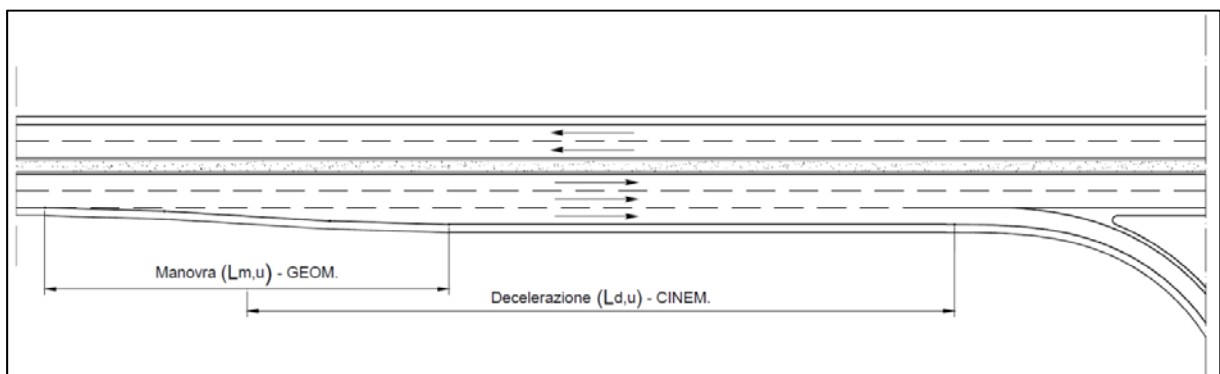


Figura 4: Elementi della corsia di uscita (D.M. 19/04/2006)

Tratto di manovra $L_{m,u}$

$L_{m,u} = 90,00$ m, come da indicazioni in Normativa DM 19/04/2006 per strada con velocità di progetto pari a 120 km/h.

Tratto di decelerazione $L_{d,u}$

$L_{m,u} = 84,00$ m, come da indicazioni in Normativa DM 19/04/2006.

Le larghezze degli elementi modulari degli svincoli sono determinate in funzione della strada di livello gerarchico superiore, tra quelle confluenti nel nodo. Tali larghezze vengono indicate in **Tabella 4**

Strade extraurbane				
elemento modulare	Tipo di strada principale	Larghezza corsie (m)	Larghezza banchina in destra (m)	Larghezza banchina in sinistra (m)
Corsie specializzate di uscita e di immissione	A	3,75	2,50	-
	B	3,75	1,75	-
Rampe monodirezionali	A	1 corsia: 4,00	1,00	1,00
		2 corsie: 2 x 3,50		
	B	1 corsia: 4,00	1,00	1,00
		2 corsie: 2 x 3,50		
Rampe bidirezionali	A	1 corsia: 3,50	1,00	-
	B	1 corsia: 3,50	1,00	-

Tabella 4: Larghezze elementi modulari

Per quanto riguarda il tracciato stradale si è considerato di ripercorrere quello esistente andando a modificare, secondo DM 05/11/2001, i raggi di curvatura delle rampe e le clotoidi conseguenti.

Si riportano, i dati utilizzati nella seguente tabella riassuntiva:

Corsia immissione		Corsia Uscita	
La	294 m	Ld	84 m
Li	0 m	Lm	90 m
Lv	75 m		

Essendo, in fase di fattibilità, risulta per il momento sufficiente questa fase di progettazione e si rimanderà nel progetto definitivo eventuali modifiche e/o verifiche più specifiche.

3.4 ACCESSI E AREE DI SERVIZIO

Nel rispetto della Circolare n° 35925 del 28 febbraio 2013 riguardante gli "Impianti per la distribuzione automatica dei carburanti ad uso autotrazione in fregio a strade extraurbane principali tipo B" si evince che:

- L'area di servizio, nel caso in cui sia localizzata subito prima di uno svincolo la distanza tra la sezione di fine della corsia di accelerazione dell'area di servizio e la sezione che individua la diversione dalla strada principale non può essere inferiore a 300 m.
- Standard geometrici:
 - o Lunghezza corsie di decelerazione e accelerazione: dimensionamento secondo DM 19/04/2006, in funzione della velocità di progetto della strada e della velocità massima compatibile con la eventuale curva di raccordo e comunque deve essere tale da consentire la riduzione della velocità a 40 Km/h all'ingresso nell'area di servizio;
 - o Larghezza corsie di decelerazione e accelerazione devono essere pari a quella della corsia più esterna della strada principale, affiancate da banchina pavimentata con larghezza per strade di tipo B pari a 1.75 m;
 - o Aiuola spartitraffico:
 - La separazione fisica tra la superficie pavimentata dell'Area di Servizio e la carreggiata stradale non può essere inferiore a 5 metri. In tale spazio si dovrà realizzare un'aiuola spartitraffico delimitata da una cordolatura di altezza non superiore a 20 centimetri disposta in allineamento all'arginello stradale;
 - L'aiuola spartitraffico non potrà avere uno sviluppo su lato strada inferiore a metri 60.
 - L'aiuola dovrà essere inerbita e su essa non si potranno disporre segnali di qualsiasi genere, piantagioni od altro, eccedenti l'altezza di 0,80 metri misurata dal piano della banchina stradale o degli accessi, ad eccezione della sola insegna di esercizio della Società petrolifera che esercita l'attività di erogazione e vendita dei prodotti carburanti lubrificanti per autotrazione, come previsto dall'art. 51, comma 7, del Reg. C.d.S. .

Per il caso in esame c'è la presenza di un area di servizio tra il km 222+50 e 222+200. L'adeguamento della corsia di decelerazione ha le seguenti caratteristiche:

$$L_{d,u} = 84 \text{ m}$$

$$L_{m,u} = 90 \text{ m}$$

Per la corsia di accelerazione si è scelto di non adeguare la corsia esistente mantenendola inalterata in relazione ai vincoli di localizzazione, ovvero la distanza tra la sezione di fine della corsia di accelerazione dell'area di servizio e la sezione che individua la diversione della strada principale non deve essere inferiore a 300 m. Essendo che la distanza con la presenza della nuova corsia sarebbe inferiore a 300 m si è optato per mantenere la corsia di accelerazione esistente.

3.5 VERIFICHE TRACCIATO STRADALE

3.5.1 Geometria dell'asse stradale: andamento planimetrico

Le caratteristiche planimetriche del tracciato sono state definite controllando le seguenti condizioni prescritte dal D.M. n° 6792 del 05.11.2001:

- (a) *Raggio minimo delle curve planimetriche*
- (b) *Relazione raggio della curva (R) / lunghezza del rettifilo (L)(D.M. 05.11.01 par. 5.2.3)*
- (c) *Compatibilità tra i raggi di due curve successive (D.M. 05.11.01 par. 5.2.3)*
- (d) *Lunghezza massima dei rettifili (D.M. 05.11.01 par. 5.2.2)*
- (e) *Lunghezza minima dei rettifili (D.M. 05.11.01 par. 5.2.2)*
- (f) *congruenza del diagramma delle velocità (D.M. 05.11.01 par. 5.4)*
- (g) *Lunghezza minima delle curve circolari (D.M. 05.11.01 par. 5.2.2)*
- (h) *Verifica del parametro A degli elementi a curvatura variabile (clotoidi) (D.M. 05.11.01 par. 5.2.5)*
 - *Criterio 1-Limitazione del contraccolpo*
 - *Criterio 2 – sovrappendenza longitudinale delle linee di estremità della carreggiata*
 - *Criterio 3 – ottico*
- (i) *pendenze trasversali lungo gli elementi a curvatura variabile (clotoidi) (D.M. 05.11.01 par. 5.2.6)*

3.5.2 Rettifili

Per questi elementi compositivi dell'asse planimetrico, il Decreto 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:

$$L_r = 22 \cdot V_{pMax} \text{ [m]}$$

dove V_{pMax} è il limite superiore dell'intervallo di velocità di progetto della strada, in km/h.

Nel nostro progetto $V_{pMax} = 120 \text{ Km/h} \Rightarrow L_r \text{ (m)} = 2.640 \text{ m}$

Nessun rettilineo di questo progetto ha superato questa lunghezza.

- 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):

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 5

Di seguito si riportano la tabella di dettaglio riassuntiva dei singoli rettifili:

Rettilo N.	Elemento N.	Progressiva Iniziale	Progress. Finale	Sviluppo	V _p [km/h]	Lmin	Lmax
1	3	381,82	1948,55	1566,74	120,00	250	2.640
2	5	2092,87	4539,12	2446,25	120,00	250	2.640

Tabella 6

Tutti i rettilinei presenti quindi hanno lunghezza superiore a quella minima prevista dalla normativa.

3.5.3 Curve circolari

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 o alla velocità massima di progetto, in questo caso fissata a 120 Km/h.

Tutte le curve di progetto rientrano soddisfano questa condizione.

Curva N.	Elemento N.	Raggio R (m)	Progressiva Iniziale (m)	Progressiva Finale (m)	Sviluppo (m)	V _p [km/h]
1	1	400,00	0,61	381,82	381,21	120,00
2	4	3000,00	1948,55	2092,87	144,32	120,00

3.5.4 Pendenze trasversali nei rettifili e nelle curve circolari

Per quanto riguarda la pendenza trasversale in rettilo, questa nasce dall'esigenza di allontanamento dell'acqua superficiale; la carreggiata è inclinata verso il margine esterno. La *tipologia di piattaforma varia in funzione della categoria di strada, come indicato in Tabella 5*


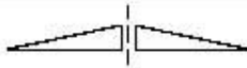

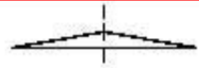


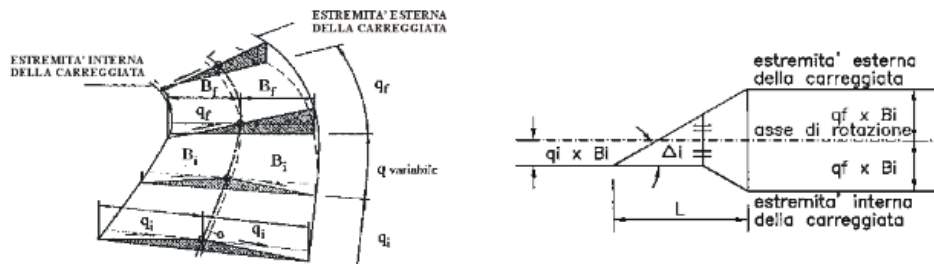
STRADE TIPO	PIATTAFORMA	PENDENZE TRASVERSALI
A, B, D a due o più corsie per carreggiata		
E a quattro corsie		
altre strade		

Tabella 5

In rettilineo la pendenza trasversale della piattaforma è conformata a tetto con pendenza del 2,5% verso l'esterno e asse di rotazione coincidente con l'asse di separazione tra le corsie.

Mentre in curva, la pendenza trasversale è rivolta verso il centro di curvatura per entrambe le corsie, con valore massimo del 7% come previsto in normativa; ed è mantenuta costante su tutta la lunghezza dell'arco di cerchio.

Lungo le curve a raggio variabile, 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 (paragrafi 5.2.3 e 5.2.4 del DM 5/11/2001).



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.

Per 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	-	-	-

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

I valori puntuali della pendenza trasversale lungo il tracciato si possono leggere in un'apposita fincatura nelle tavole inerenti il profilo longitudinale

3.5.5 Curve a raggio variabile

Queste curve sono progettate in modo da garantire:

- una variazione di accelerazione centrifuga non compensata (contraccolpo) contenuta entro valori accettabili;
- una limitazione della pendenza (o sovrappendenza) longitudinale delle linee di estremità della piattaforma;
- la percezione ottica corretta dell'andamento del tracciato.

La curva a raggio variabile da impiegarsi è la clotoide, una particolare curva della famiglia delle spirali generalizzate definite dalla seguente equazione:

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

dove:

r = raggio di curvatura nel punto generico

s = ascissa curvilinea nel punto generico

A = parametro di scala

Dalla verifica del parametro di scala deve risultare:

$$A \geq A_{\min}$$

dove A_{\min} è determinato secondo tre criteri che tengono conto dei tre requisiti sopracitati:

- limitazione del contraccolpo
- limitazione variazione pendenza trasversale
- percezione ottica corretta

1.1.1.1 Limitazione del contraccolpo

Affinché lungo un arco di clotoide si abbia una graduale variazione dell'accelerazione trasversale non compensata nel tempo (contraccolpo c), fra il parametro A e la massima velocità, V (km/h), desunta dal diagramma di velocità, per l'elemento di clotoide deve essere verificata la relazione:

$$A \geq A_{\min} = \sqrt{\frac{V^3}{c} - \frac{g \cdot V \cdot R \cdot (q_f - q_i)}{c}} \quad (\text{formula corretta})$$

dove:

$q_i = \frac{i_{ci}}{100'}$ con i_{ci} = pendenza trasversale nel punto iniziale della clotoide;

$q_f = \frac{i_{cf}}{100'}$ con i_{cf} = pendenza trasversale nel punto finale della clotoide;

Trascurando il secondo termine dell'espressione del radicando e assumendo per il contraccolpo il valore limite

$$c_{\max} = \frac{50,4}{V} \quad (\text{m/s}^3)$$

max = (m/s³)

si ottiene:

$$A \geq 0,021 \times V^2 \quad (\text{formula approssimata})$$

2.1.1.1 Limitazione variazione pendenza trasversale

Nelle sezioni di estremità di un arco di clotoide la carreggiata stradale presenta differenti assetti trasversali, che vanno raccordati longitudinalmente, introducendo una sovrappendenza nelle linee di estremità della carreggiata rispetto alla pendenza dell'asse di rotazione. Nel caso in cui il raggio iniziale sia di valore infinito (rettilineo o punto di flesso), il parametro deve verificare la seguente disuguaglianza:

$$A \geq A_{min} = \sqrt{\frac{R}{\Delta i_{max}} \times 100 \times B_i (q_i - q_f)} \quad (\text{formula corretta})$$

B_i = distanze fra l'asse di rotazione ed il ciglio della carreggiata nella sezione iniziale della curva a raggio variabile



$$q_i = \frac{i_{ci}}{100'} \quad \text{con } i_{ci} = \text{pendenza trasversale nel punto iniziale, in valore assoluto;}$$

$$q_f = \frac{i_{cf}}{100'} \quad \text{con } i_{cf} = \text{pendenza trasversale nel punto finale, in valore assoluto;}$$

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 di una curva circolare con clotoidi con parametri diversi ai due lati;
- il flesso tra curve circolari di verso opposto senza interposizione di un rettilineo;
- la continuità nella successione di curve circolari di verso uguale senza rettilinei intermedi;
- il raccordo tra due cerchi secanti mediante cerchio ausiliario.

Tali casi sono rappresentati nella figura sottostante.

TIPOLOGIA	LIMITI
	$A_1 \geq A_{min}$ $A_2 \geq A_{min}$ $\frac{R_1}{3} < A_1 < R$ $\frac{R_2}{3} < A_2 < R$ $\frac{R}{3} < \frac{A_1}{A_2} < \frac{3}{2}$
	$R_2 < R_1 \quad A_1 \geq A_{min} \quad A_2 \geq A_{min}$ FLESSO ASIMMETRICO $A_1 \neq A_2$ $\frac{R_1}{3} < A_1 < R_1 \quad \frac{R_2}{3} < A_2 < R_2 \quad \frac{2}{3} < \frac{A_1}{A_2} < \frac{3}{2}$ FLESSO SIMMETRICO $A_1 = A_2 = A$ $\frac{R_1}{3} < A < R_2$

3.1.1.1 Percezione ottica corretta

Per garantire la percezione ottica del raccordo deve essere verificata la relazione

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

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

$$A \leq R$$

Dall'analisi dei dati relativi alla verifica del parametro di scala mediante i tre criteri citati emerge come esso soddisfi pienamente i tre requisiti in tutte le clotoidi del tracciato in esame.

Nella tabella seguente si riportano in dettaglio tutte le curve circolari presenti lungo il tracciato e le relative clotoidi:

Curva n.	Progressiva Iniziale (m)	Progressiva Finale (m)	Raggio (m)	Sviluppo (m)	V _P	Clotoidi	
					[km/h]	A _{entr}	A _{usc}
1	0,62	381,82	400,00	381,21	120,00	165	165
2	1948,55	2092,87	3000,00	144,32	120,00	1000	1000

Tabella 6

3.5.6 Raccordi verticali

Devono essere eseguiti con archi di parabola quadratica ad asse verticale, il cui sviluppo viene calcolato con l'espressione:

$$L = R_v \times \frac{\Delta_i}{100}$$

dove Δ_i è la variazione di pendenza in percento delle livellette da raccordare ed R_v è il raggio del cerchio osculatore, nel vertice della parabola, determinato come ai paragrafi seguenti.

Il valore minimo del raggio R_v , che definisce la lunghezza del raccordo, deve essere determinato in modo da garantire:

- che nessuna parte del veicolo (eccetto le ruote) abbia contatti con la superficie stradale; ciò comporta:
 - $R_v \geq R_v \text{ min} = 20 \text{ m}$ nei dossi
 - $R_v \geq R_v \text{ min} = 40 \text{ m}$ nelle sacche
- che per il comfort dell'utenza l'accelerazione verticale a_v non superi il valore a_{lim} ; si ha:

$$a_v = \frac{v_p^2}{R_v} \leq a_{lim} \text{ dove:}$$

v_p = velocità di progetto della curva [m/s], desunta puntualmente dal diagramma delle velocità

R_v = raggio del raccordo verticale [m]

$a_{lim} = 0,6 \text{ m/s}^2$

- che vengano garantite le visuali libere

3.5.7 Raccordi concavi

Raccordo n.	Progressiva inizio (m)	Progressiva fine (m)	Raggio (m)	Delta i %	Raggio minimo (m)
1	73,98	303,96	8000	-2,87	4340,83
2	450,53	650,53	8000	2,50	2814,85
4	2277,53	2468,96	8000	2,39	2388,27
5	2570,27	3020,26	9000	-5,00	8972,28

3.5.8 Raccordi convessi

Raccordo n.	Progressiva inizio (m)	Progressiva fine (m)	Raggio (m)	Delta i %	Raggio minimo (m)
3	1303,79	1312,36	8000	0,10	1851,85

4.1.1.1 Diagramma delle velocità

La verifica della correttezza della progettazione comporta la redazione del diagramma di velocità per ogni senso di circolazione.

Come indicato al cap. 2 del DM 05/11/2001 ed evidenziato nella tabella 3.4.a dello stesso DM, ad ogni tipo di strada sono associati un limite inferiore ed uno superiore per le velocità di progetto degli elementi planoaltimetrici che compongono il suo asse.

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, che deve essere contenuta nei limiti di cui sopra. Il modello semplificato di variazione della velocità lungo il tracciato, che di seguito si presenta, si basa sulle seguenti ipotesi:

- in rettilineo, sugli archi di cerchio con raggio non inferiore a R_{2,5} (par. 5.2.4), e nelle clotoidi, la velocità di progetto tende al limite superiore dell'intervallo; gli spazi di accelerazione conseguenti all'uscita da una curva circolare, e quelli di decelerazione per l'ingresso a detta curva, ricadono soltanto negli elementi considerati (rettilineo, curve ampie con R > R_{2,5} e clotoidi);
- la velocità è costante lungo tutto lo sviluppo delle curve con raggio inferiore a R_{2,5}, e si determina dagli abachi 5.2.4.a e 5.2.4.b all'interno del DM 05/11/2001;
- i valori dell'accelerazione e della decelerazione restano determinati in 0.8 m/s²;
- si assume che le pendenze longitudinali non influenzino la velocità di progetto.

5.1.1.1 Lunghezza di transizione

La lunghezza di transizione DT è la lunghezza in cui la velocità, conformemente al modello teorico ammesso, passa dal valore V_{p1} a quello V_{p2}, competenti a due elementi che si succedono.

D_T (in metri) è dato dalla seguente espressione:

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

dove:

ΔV = differenza di velocità (V_{p1} - V_{p2}) [km/h];
V_m = velocità media tra due elementi [km/h]
a = accelerazione o decelerazione ± 0,8 [m/s²]

6.1.1.1 Esame del diagramma delle velocità

Una volta ottenuto il diagramma di velocità e verificato che le condizioni precedentemente indicate sulle distanze di transizione D_T , siano soddisfatte, occorre assicurarsi che il tracciato possa essere ritenuto omogeneo per entrambi i sensi di circolazione.

A questo scopo devono essere soddisfatte le seguenti condizioni:

Per $V_{pmax} \leq 80$ km/h (in questo progetto) nel passaggio da tratti caratterizzati dalla V_{pmax} 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.

Poiché si tratta di una verifica globale sulle scelte puntuali dei vari elementi di un tracciato, nel caso le condizioni sopra esposte non siano verificate, anche solo in singole parti, occorrerà riprendere la geometria di interi tratti.

3.5.9 Allargamento curva ad inizio intervento (PK 218 + 550)

Nel rispetto del DM 05/11/2001, lungo il tracciato stradale la distanza di visuale libera deve essere confrontata con le seguenti distanze:

- Distanza di visibilità per l'arresto: 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: 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 cambio corsia: 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.).

In questo caso non essendo a ridosso di uno svincolo ed essendo una strada di tipo B ovvero a due corsie per senso di marcia, non è necessario verificare la distanza di visibilità per il sorpasso e per il cambio corsia.

Si procede alla verifica della distanza di visibilità per l'arresto, fornendo due casi possibili.

7.1.1.1 Caso 1: Allargamento corsie

Si prevede l'allargamento della corsie, calcolato attraverso l'involuppo della distanza di arresto calcolata mediante la formulazione presente in Normativa DM 05/11/2001, come segue:

$$D_a = v \cdot \tau + \frac{v^2}{2 \cdot g (f_e \pm i)}$$

Con:

- $v = 33.33 \text{ m/s}$
- $\tau = 1.6 \text{ s}$
- $f_e = 0.45$
- $i = \pm 2.5 \%$

- $D_a^+ = 173.18 \text{ m}$
- $D_a^- = 185.82 \text{ m}$.

Si ottiene quindi un allargamento pari a 2.7 m rispetto alla banchina interna alla curva, ed un allargamento pari a 4.5 m rispetto alla banchina interna della carreggiata esterna.

8.1.1.1 Caso 2: Adeguamento limite di velocità

Si prevede di non effettuare l'allargamento in curva, ma di adeguare il limite di velocità al fine di garantire la sicurezza sulla strada.

In questo caso, si calcola che la distanza di arresto e da esso si calcola il limite di velocità.

$$D_a^+ = 75 \text{ m}$$

$$D_a^- = 79 \text{ m}.$$

Di conseguenza si può assumere che per rispettare la distanza di visibilità per l'arresto, la velocità di percorrenza deve essere pari a 70 km/h.

3.6 DIMENSIONAMENTO PAVIMENTAZIONE STRADALE

Il metodo utilizzato per il dimensionamento della pavimentazione stradale di progetto deriva direttamente dai risultati dell'AASHTO Road Test condotti tra il 1958 e il 1961; tale metodo ha subito nel tempo numerose modifiche e miglioramenti: la prima versione risale al 1961, l'ultima al 1993 denominata "AASHTO Guide for Design of Pavement Structures".

I passi per la verifica della pavimentazione stradale prevista lungo la S.S.67 sono:

Definizione dei dati iniziali (tipo di strada, traffico, carichi, indice di servizio, portanza sottofondo, affidabilità, etc.);

Determinazione della portanza di calcolo del sottofondo;

Ipotesi degli spessori di tentativo degli strati (ad es. quelli di catalogo nelle condizioni più prossime al caso in esame);

Verifica dello spessore complessivo della pavimentazione;

Nel caso non sia verificato lo spessore complessivo, aumento degli spessori, partendo da quelli più profondi (cercando di non variare eccessivamente i rapporti tra le dimensioni degli strati) fino a soddisfare la verifica.

Il metodo è empirico-statistico, basato cioè su osservazioni sperimentali dei parametri in gioco, i quali sono opportunamente correlati da funzioni di regressione in modo che i legami funzionali siano fisicamente corretti. Esso consiste nel determinare il numero di assi standard (l'asse standard è l'asse singolo con ruote gemelle da 18 kips = 80 kN = 8,2 t) che la pavimentazione può sopportare raggiungendo un fissato grado di ammaloramento finale (PSI_f). Tale valore è funzione di vari parametri, quali caratteristiche meccaniche dei materiali, spessori degli strati, portanza del sottofondo, grado di ammaloramento finale che, per questioni di comfort e sicurezza, la pavimentazione può raggiungere, coefficiente di sicurezza (fissato attraverso l'affidabilità, ovvero la probabilità che la pavimentazione resista al traffico che transita durante la sua vita utile).

Tali assi devono essere confrontati con il traffico commerciale (veicoli con carico per asse o set di assi superiore a 10 kN) che si stima passerà durante la vita utile della pavimentazione sulla corsia più carica (si dimensiona la corsia più carica, non essendo il traffico pesante equiripartito tra le corsie).

Poiché il traffico commerciale che transita su strada è costituito da veicoli che si differenziano per numero di assi, carico per asse e tipologia di asse (singolo, tandem e tridem) è necessario determinare il numero di assi standard equivalenti, ovvero il numero di assi standard che determinano lo stesso danno alla pavimentazione provocato dai veicoli reali, o meglio dagli assi dei veicoli reali.

Per determinare il numero di assi standard che transiteranno, è necessario stabilire preliminarmente i coefficienti di equivalenza tra ciascun asse reale e quello standard.

Tali coefficienti sono funzione di alcuni parametri, quali caratteristiche meccaniche dei materiali, spessori degli strati, grado di ammaloramento finale (per quanto riguarda la pavimentazione), carico per asse e tipologia di asse (per quanto riguarda gli assi stessi).

Noti i coefficienti di equivalenza di ciascun asse dei veicoli che compongono il traffico reale, bisogna determinare il coefficiente di equivalenza medio, che è funzione della composizione del traffico sulla strada in esame (ovvero dello spettro di traffico, cioè della frequenza relativa dei vari tipi di veicoli).

Infine, per determinare il numero di assi equivalenti che transiteranno sulla corsia più carica basta moltiplicare il coefficiente di equivalenza medio per il numero di veicoli commerciali che si stima transiteranno durante la vita utile della pavimentazione sulla corsia più carica.

Per ottenere il numero di veicoli commerciali che transiteranno sulla corsia più carica della pavimentazione durante la vita utile, bisogna conoscere il TGM, la percentuale di veicoli pesanti P (%), la suddivisione del traffico pesante tra le corsie C (%), il tasso d'incremento annuo del traffico r (%).

3.6.1 Calcolo del numero di assi standard – Traffico sopportabile

Sia $W_{8.2}$ il numero di passaggi di assi standard (singoli da 8.2 t (80 kN o 18 kips)) sopportabile dalla pavimentazione. Esso è legato a vari parametri attraverso la funzione di regressione:

$$\log W_{8.2} = Z_R \cdot S_0 + 9.36 \cdot \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log \frac{PSI_i - PSI_f}{4.2 - 1.5}}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \cdot \log M_R - 8.07$$

con:

- PSI_i =Indice di servizio iniziale (Present Serviceability Index)
- PSI_f =Indice di servizio finale (Present Serviceability Index)
- $SN = \sum_i s_i \cdot a_i \cdot m_i$ =Indice strutturale (Structural Number) [inch]
- s_i =spessore dello strato i-esimo [inch]
- a_i =coefficiente strutturale (<1) dello strato i-esimo (funzione delle caratteristiche meccaniche del materiale)
- m_i =coefficiente di drenaggio (≤ 1) dello strato i-esimo
- M_R =modulo resiliente effettivo del sottofondo [psi]
- $Z_R \cdot S_0$ = affidabilità R

Indice di servizio PSI (Present Serviceability Index)

L'indice di servizio rappresenta una misura del grado di ammaloramento della sovrastruttura, in termini di sicurezza e comfort (in quanto è una valutazione data alla pavimentazione in funzione del comfort e della sicurezza che l'utente percepisce). È un numero che varia tra 0 e 5.

- a) Indice di servizio iniziale: per tenere conto delle inevitabili imperfezioni costruttive, si ipotizza un valore inferiore al massimo assumibile, circa pari a $PSI_i=4,2$;
- b) Indice di servizio finale: per le strade caratterizzate da elevate velocità di progetto, quali le autostrade, sono richiesti valori alti per assicurare sempre elevati standard prestazionali; in questa fase di progettazione si assumono come valori finali quelli riportati nel Catalogo Italiano delle Pavimentazioni (CNR – b.u. n°178), in Tabella 7.

Tabella 7 - Valori di affidabilità e indice di servizio

Tipo di strada	Cat.	Affidabilità R [%]	PSI_f	ΔPSI	S_0	$Z_R * S_0$
Autostrade extraurbane	A	90	3,0	1,6	0,45	-0,5769
Autostrade urbane	A	95	3,0	1,6	0,40	-0,6580
Strade extraurbane a forte traffico	B	90	2,5	2,1	0,45	-0,5769
Strade extraurbane secondarie ordinarie	C	85	2,5	2,1	0,40	-0,4148
Strade extraurbane secondarie turistiche	F	80	2,5	2,1	0,45	-0,3785
Strade urbane di scorrimento	D	95	2,5	2,1	0,40	-0,6580
Strade urbane di quartiere e locali	E, F	90	2,0	2,6	0,45	-0,5769
Corsie preferenziali	-	95	2,5	2,1	0,40	-0,6580

Affidabilità R

L'affidabilità R rappresenta la probabilità che il numero di passaggi di assi singoli equivalenti ($W_{8,2}$) che la pavimentazione può sopportare prima di raggiungere un prefissato grado di ammaloramento finale (PSI_f) sia maggiore o uguale al numero di passaggi che realmente si verifica sulla corsia più carica durante la vita utile della pavimentazione N_t , comprendendo sia l'errore che si può commettere sulla valutazione del traffico sia la variabilità delle prestazioni della pavimentazione. È stato dimostrato sperimentalmente che la variabile aleatoria espressa da:

$$\delta = \log W_{8,2} - \log N_t$$

è una normale avente media $\bar{\delta}_0 (\geq 0)$ e varianza $S_0 = 0.40 \div 0.50$.

Introducendo la normale standard (ovvero la variabile aleatoria normale media nulla e varianza unitaria):

$$Z = \frac{\delta - \bar{\delta}_0}{S_0}$$

si ha:

$$R = Pr\{\log W_{8,2} \geq \log N_t\} = Pr\{\delta \geq 0\} = Pr\left\{Z \geq -\frac{\bar{\delta}_0}{S_0}\right\}$$

I valori di Z_R in funzione dell'affidabilità sono riportati nella seguente tabella:

R [%]	50	60	70	75	80	85	90	92	95	98	99	99,9
Z_R	0,000	-0,253	-0,524	-0,674	-0,841	-1,037	-1,282	-1,405	-1,645	-2,054	-2,327	3,090

I valori dell'affidabilità da assumere dipendono dal tipo di strada e dalla sua ubicazione: i valori più alti si adottano per le autostrade urbane e per le corsie preferenziali affinché sia minimo il rischio di interventi di rafforzamento prima del termine della vita utile della pavimentazione con conseguenti gravi intralci alla circolazione. I valori più bassi si adottano per le strade extraurbane a traffico modesto.

Per la verifica in esame, è stato assunto come valore di R quello riportato dal Catalogo sulle pavimentazioni stradali, ossia:

80% Strade extraurbane secondarie – turistiche;

85% Strade extraurbane secondarie – ordinarie;

90% Autostrade extraurbane, Strade extraurbane principali e secondarie a forte traffico, Strade urbane di quartiere e locali;

95% Autostrade urbane e corsie preferenziali.

L'affidabilità che interviene nell'espressione dell'AASHTO si esprime attraverso il prodotto dei due parametri Z_R ed S_0 , con $S_0 = 0.40 \div 0.50$, desumibile dalla Tabella 7 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** ($S_0=0.45$).

Portanza del sottofondo

La portanza del sottofondo viene espressa con il Modulo Resiliente MR; nello specifico viene utilizzato il modulo resiliente effettivo che tiene conto della variabilità della capacità portante del sottofondo stesso: tale parametro è definito come valore del modulo resiliente del sottofondo, costante durante tutto l'anno solare, per il quale si avrebbe nella pavimentazione una variazione della funzionalità (ΔPSI) uguale a quella che si produce in presenza dei diversi valori assunti dal modulo resiliente nelle varie condizioni climatiche, che si hanno nell'anno.

La portanza andrebbe valutata per ogni periodo (stagione) in cui essa si può supporre costante. In genere si possono definire almeno 4 periodi stagionali ciascuno caratterizzato da un MR_i .

Nel caso in esame, non avendo a disposizione misure dirette, tale modulo è stato definito mediante la seguente correlazione:

$$M_R = 10 \cdot CBR \quad [MPa]$$

con $CBR = 0.2 \text{ Md} \quad [MPa]$

Non disponendo attualmente di misure sperimentali, si può fare riferimento alla "classifica di Casagrande" per definire il CBR_{ottimo} in relazione al tipo di sottofondo.

Visto che i sedimenti rilevati nell'ambito delle indagini geologiche effettuate sono costituiti principalmente da limi e sabbie fini, si ritiene di poter utilizzare cautelativamente un valore della portanza del sottofondo espressa in termini di CBR pari al 10% (vedere Tabella 8).

tipo di terra	sigla	NOME	Comportamento come fondazione	Comportamento come strato di base	Azione del gelo	Compressibilità ad espansione	Caratteristiche del drenaggio	Macchine per il costipamento	Peso per unità di volume (γ / m^3)	C B R	K (MPa/m)
terre a grana grossa (terre limo-argillose) CBR alta compressibilità II > 50	GV	Ghiaie e ghiaie sabbiose ben graduate	eccellente	buono	nessuna o lieve	pressocche' nulla	eccellente	Rullo statico Rullo gemmato trattore cingolato	20.000 - 22.500	60 - 80	≥ 80
	GP	Ghiaie e ghiaie sabbiose poco graduate	da eccellente a buono	da scadente a discreto	nessuna o lieve	pressocche' nulla	eccellente	Rullo statico Rullo gemmato trattore cingolato	19.000 - 21.000	35 - 60	≥ 60
	GU	Ghiaie e ghiaie sabbiose uniformi	buono	scadente	nessuna o lieve	pressocche' nulla	eccellente	Rullo gemmato trattore cingolato	18.500 - 20.000	25 - 60	≥ 60
	GK	Ghiaie limose o ghiaie sabbiose limose	da eccellente a buono	da discreto a buono	da lieve a media	molto lieve	da discreto a scadente	Rullo gemmato Rullo costip. a piede di montone	21.000 - 23.000	40 - 60	≥ 80
	GC	Ghiaie argillose o ghiaie sabbiose argillose	buono	scadente	da lieve a media	lieve	da scadente a praticamente impermeabile	Rullo gemmato Rullo costip. a piede di montone	20.000 - 22.500	20 - 40	≥ 60
terre a grana fine (terre limo-argillose) CBR bassa compressibilità II < 50	SV	Sabbie o sabbie ghiaiose ben graduate	buono	scadente	nessuna o lieve	pressocche' nulla	eccellente	Rullo gemmato trattore cingolato	17.500 - 21.000	20 - 40	60 - 80
	SP	Sabbie o sabbie ghiaiose poco graduate	da discreto a buono	scadente o inadatto	nessuna o lieve	pressocche' nulla	eccellente	Rullo gemmato trattore cingolato	17.000 - 19.000	15 - 25	60 - 80
	SV	Sabbie o sabbie ghiaiose uniformi	da discreto a buono	non adatto	nessuna o lieve	pressocche' nulla	eccellente	Rullo gemmato trattore cingolato	16.000 - 19.500	10 - 20	60 - 80
	SH	Sabbie limose o sabbie limo-ghiaiose	buono	scadente	da lieve a bassa	molto lieve	da discreta a scadente	Rullo gemmato Rullo costip. a piede di montone	19.000 - 21.500	20 - 40	60 - 80
	SC	Sabbie argillose o sabbie argillose-ghiaiose	da discreto a buono	non adatto	da lieve a bassa	da lieve a media	da scadente a praticamente impermeabile	Rullo gemmato Rullo costip. a piede di montone	17.000 - 21.000	10 - 20	60 - 80
Torbe e altre terre organiche fibrose	HL	Limo, sabbie limose, limo ghiaioso	da discreto a scadente	non adatto	da media a molto bassa	da lieve a media	da discreta a scadente	Rullo gemmato Rullo costip. a piede di montone	16.000 - 20.000	5 - 15	30 - 40
	CL	Argille sabbiose o argille sabbiose-ghiaiose	da discreto a scadente	non adatto	da media a bassa	media	praticamente impermeabile	Rullo gemmato Rullo costip. a piede di montone	16.000 - 20.000	5 - 15	30 - 60
	OL	Limi organici o argille organiche sabbiose	scadente	non adatto	da media a bassa	da media a bassa	scadente	Rullo gemmato Rullo costip. a piede di montone	14.500 - 17.500	4 - 8	30 - 60
	HL	Argille micacee	scadente	non adatto	da media a molto bassa	bassa	da discreta a scadente	Rullo gemmato Rullo costip. a piede di montone	13.000 - 16.000	4 - 8	30 - 60
	CL	Argille grasse	scadente o molto scadente	non adatto	media	bassa	praticamente impermeabile	Rullo gemmato Rullo costip. a piede di montone	14.500 - 17.500	3 - 5	15 - 30
	OL	Argille organiche grasse	scadente o molto scadente	non adatto	media	bassa	praticamente impermeabile	Rullo gemmato Rullo costip. a piede di montone	13.000 - 17.000	3 - 5	15 - 30
Torbe e altre terre organiche fibrose	PL	Torbe, humus ed altro	non adatto	non adatto	lieve	molto bassa	da discreta a scadente	non eseguibile il costipamento	—	—	—

Tabella 8 – Classifica di Casagrande

In questa fase di progettazione, si ipotizza che il CBR_{ottimo} si ottenga in condizioni di umidità tipiche dell'estate, mentre per le altre stagioni si prevede il seguente decremento percentuale:

CBR		M_{Rj} [MPa]
$CBR_{primavera}$	70% $CBR_{Casagrande}$	70,00
CBR_{estate}	100% $CBR_{Casagrande}$	100,00
$CBR_{autunno}$	75% $CBR_{Casagrande}$	75,00
$CBR_{inverno}$	50% $CBR_{Casagrande}$	50,00

Da tali valori, si ricava il modulo resiliente effettivo attraverso il calcolo del danno stagionale per ciascun periodo stagionale pari a:

$$U_j = 10^{-(2.32 \cdot \log M_{Rj} - 3.056)}$$

Valutato il danno stagionale, si valuta il danno medio ed infine il modulo resiliente effettivo M_R .

$$\bar{U} = \frac{\sum_{j=1}^n U_j}{n} \quad M_R = \left(\frac{10^{3.056}}{\bar{U}} \right)^{\frac{1}{2.32}}$$

	CBR	M_{Rj} [MPa]	U_j	\bar{U}	M_R [MPa]	M_R [psi]
Primavera	7,00	70,00	0,060	0,6665	66,71	9675,68
Estate	10,00	100,00	0,026			
Autunno	7,50	75,00	0,051			
Inverno	5,00	50,00	0,130			

Per ottenere il valore in psi, occorre applicare il fattore di conversione:

$$1psi = \frac{4.4498}{24,5^2} = 0,006895$$

Indice strutturale SN

Nel metodo utilizzato, le caratteristiche strutturali della pavimentazione sono sintetizzate attraverso un coef-

ficiente convenzionale detto "Numero di Struttura", che viene calcolato come segue:

$$SN = \sum_i s_i \cdot a_i \cdot m_i$$

con:

s_i = spessore dell' i -esimo strato, espresso in pollici [inch];

a_i = coefficiente di struttura che rappresenta il contributo dello strato alla prestazione complessiva della pavimentazione, espresso in [inch⁻¹];

m_i = coefficiente degli effetti di drenaggio, adimensionale.

m_i	1	Strati legati in misto granulare
	0.98	Strati in misto cementato
	0.95	Strati in misto granulare

Per ottenere a_i bisogna utilizzare i nomogrammi forniti dall'AASHTO.

Poiché in Italia si utilizza lo strato superficiale suddiviso in usura e binder, con conseguente minore rigidità a parità degli altri fattori (quali spessori degli strati, materiali), è consigliabile ridurre i valori ottenuti da tali nomogrammi di circa il 5-10% per gli strati in conglomerato bituminoso.

I valori utilizzati in tale dimensionamento sono:

Coefficienti strutturali di riferimento a_i				
Usura	Binder	Base	Misto granulare	Misto cementato
0.43	0.40	0.28	0.11	0.18

Inoltre, si deve tener conto del contributo dato dal sottofondo SNSG (structural number of subgrade) valutato attraverso la sua capacità portante CBR:

$$SNSG = 3.5 \log CBR - 0.85(\log CBR)^2 - 1.43 \quad \text{per } CBR \geq 3$$

$$SNSG = 0 \quad \text{per } CBR < 3$$

Nel caso in esame, come espresso in precedenza, è stato considerato un CBR del sottofondo di 5, dunque SNSG=1,23 inch.

Il valore dello Structural Number complessivo risulta:

Calcolo STRUCTURAL NUMBER "SN"					
STRATO	Spessore (cm)	Spessore (inch)	a_i	m_i	SN_i (cm)
Usura	5,00	1,97	0,430	1	0,85
Binder	6,00	2,36	0,400	1	0,94
Base	12,00	4,72	0,280	1	1,32
Fondazione	30,00	11,81	0,110	0,95	1,23
Sottofondo	CBR	10			

$\sum SN_i$ [inch]	4,35
SNSG [inch]	1,23
SN [inch]	5,58

A questo punto, si valuta il valore di $W_{8.2}$, ossia il valore di traffico sopportabile dalla pavimentazione ipotizzata, mediante la formula precedentemente riportata.

$$\log W_{8.2} = Z_R \cdot S_0 + 9.36 \cdot \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log \frac{PSI_i - PSI_f}{4.2 - 1.5}}{\frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \cdot \log M_R - 8.07$$

$$\log W_{8.2} = 8,229 + \frac{0,40}{(SN + 1)^{5.19}}$$

Il numero di passaggi di assi equivalenti da 8.2 t sopportabili dalla pavimentazione di assegnate caratteristiche risulta pari a:

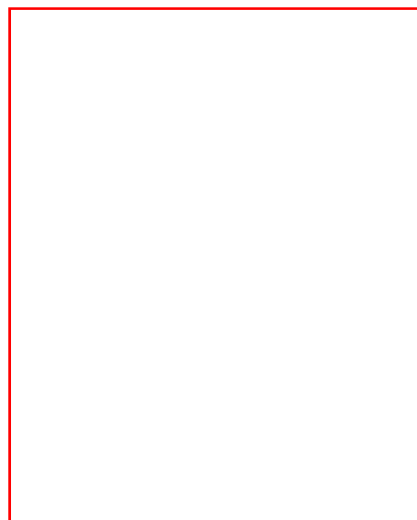
$$W_{8.2} = 10^{8,299} = 169.480.700$$

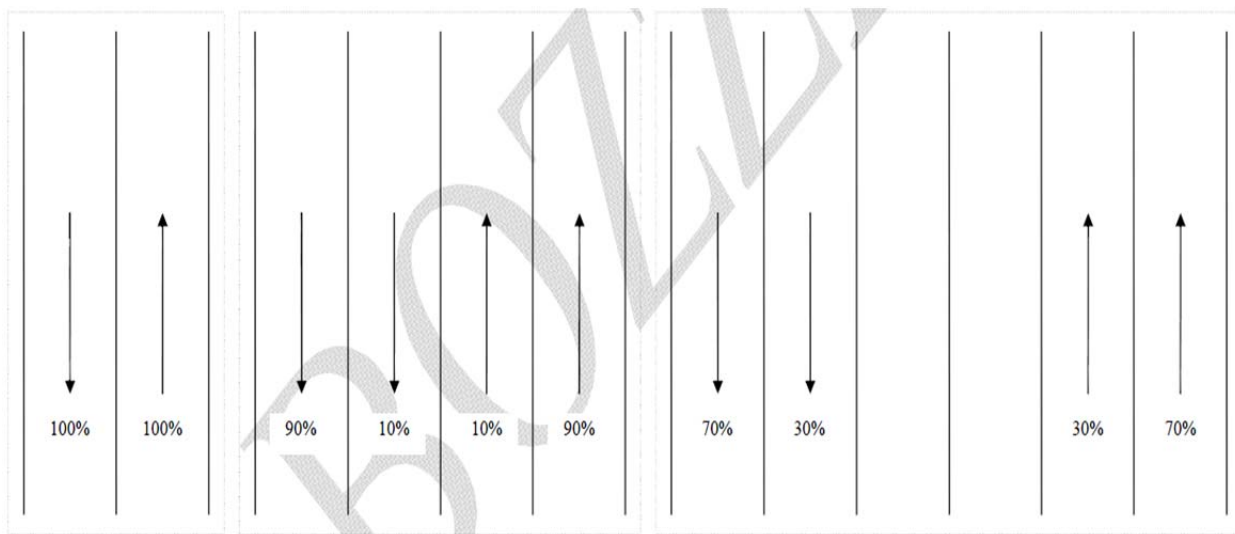
3.6.2 Calcolo del numero di assi standard equivalente

Dopo aver valutato il traffico sopportabile dalla pavimentazione ipotizzata, è necessario verificare che tale valore sia maggiore o uguale al numero $N_{8.2}$ di passaggi di assi equivalenti previsti nell'arco di vita utile della pavimentazione.

Per determinare tale valore, per prima cosa è necessario valutare il traffico commerciale "T^N" relativo alla strada in oggetto; si considerano:

- Vita utile = 30 anni (corrispondente al n° di anni durante i quali la pavimentazione deve assicurare condizioni di funzionalità > del PSI_{finale});
- TGM tot (valore medio giornaliero) = 15.000 vv/gg (valore ottenuto dall'analisi dei rilievi di traffico eseguiti nella postazione n. 3355, km 221+979 della S.S.67 negli anni 2012,2013,2014 incrementato per tener conto degli ipotizzati aumenti di traffico connessi all'adeguamento del tratto stradale e alla realizzazione dell'hub portuale);
- R (tasso d'incremento annuo di traffico) = si ipotizza un tasso del 3,50%;
- p_c (% veicoli commerciali sulla corsia di marcia) = 10%;
- p_{corsia} (% veicoli commerciali sulla corsia di marcia) = 90% (1 se si ha una corsia per senso di marcia, 0,90 se le corsie sono due e 0,70 se sono tre – vedi figura seguente)





Sulla scorta di quanto premesso, è stato calcolato il valore di T^N , ossia il n° di veicoli commerciali transitanti sulla corsia più carica della strada nel corso della vita utile:

Calcolo TRAFFICO COMMERCIALE " T^N "		
Vita utile "N"	30	anni
TGM tot (singola corsia di marcia e quale valor medio giornaliero)	15000,00	veic/gg
R(tasso di incremento annuo traffico)	3,50%	%
p_{sm} (% traffico nel senso di marcia)	50,00%	%
p_{corsia} (% veicoli commerciali sulla corsia di marcia)	90,00%	%
p_c (% veicoli commerciali)	10,00%	%
n° giorni (a cui si riferisce il valore del TGM tot)	365,00	gg
n_{vca}	246.375,00	veic

Il valore di T^N risulta pari a:

$$T^N = n_{vca} \cdot \left[\frac{(1 + R)^N - 1}{R} \right] = 12.718.537$$

Il numero di veicoli commerciali transitanti sulla corsia più carica ottenuto è stato ricondotto, secondo il criterio fissato dalla AASHTO, al numero di passaggi di assi equivalenti (80 kN=8,2 ton), in modo da confrontarlo col valore di $W_{8.2}$ precedentemente valutato: per prima cosa sono state valutate le tipologie di veicoli che costituiscono il parco veicolare commerciale in Italia e gli spettri di traffico prevedibili.

Tabella 9 – Composizione dei veicoli commerciali

Tipo di veicolo	N° Assi			Carichi per asse o set di assi		
	S	T	Td			
1) AUTOCARRI LEGGERI	2			↓ 10	↓ 20	
2) " "	2			↓ 15	↓ 30	
3) AUTOCARRI MEDI E PESANTI	2			↓ 40	↓ 80	
4) " "	2			↓ 50	↓ 110	
5) AUTOCARRI PESANTI	1			↓ 40	↓ ↓ 80+80	
6) " "	1			↓ 60	↓ ↓ 100+100	
7) AUTOTRENI E AUTOARTICOLATI	4			↓ 40	↓ 90	↓ 80 ↓ 80
8) " "	4			↓ 60	↓ 100	↓ 100 ↓ 100
9) " "	1	2		↓ 40	↓ ↓ 80+80	↓ ↓ 80+80
10) " "	1	2		↓ 60	↓ ↓ 90+90	↓ ↓ 100+100
11) " "	2		1	↓ 50	↓ 100	↓ ↓ ↓ 80+80+80
12) " "	2		1	↓ 60	↓ 110	↓ ↓ ↓ 90+90+90
13) MEZZI D'OPERA	2		1	↓ 50	↓ 130	↓ ↓ ↓ 130+130+130
14) AUTOBUS	2			↓ 40	↓ 80	
15) " "	2			↓ 60	↓ 100	
16) " "	2			↓ 50	↓ 80	

Tabella 10 – Spettro di traffico dei veicoli commerciali per tipo di strada

TIPO DI STRADA	TIPO DI VEICOLO															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1. Autostrada extraurbana	12.2	-	24.4	14.6	2.4	12.2	2.4	4.9	2.4	4.9	2.4	4.9	0.10	-	-	12.2
2. Autostrada urbana	18.2	18.2	16.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.6	18.2	27.3	-
3. Strade extr. principali e secondarie a forte traffico	-	13.1	39.5	10.5	7.9	2.6	2.6	2.5	2.6	2.5	2.6	2.6	0.5	-	-	10.5
4. Strade extr. secondarie ordinarie	-	-	58.8	29.4	-	5.9	-	2.8	-	-	-	-	0.2	-	-	2.9
5. Strade extr. secondarie turistiche	24.5	-	40.8	16.3	-	4.15	-	2	-	-	-	-	0.05	-	-	12.2
6. Strade urbane di scorrimento	18.2	18.2	16.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.6	18.2	27.3	-
7. Strade urbane di quartiere e locali	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-
8. Corsie Preferenziali	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47	53	-

Utilizzando il criterio definito dall'AASHTO, il traffico viene convertito in un numero di passaggi di assi standard equivalenti tramite la relazione:

$$N_{8,2} = T^N \cdot CSN$$

dove CSN è un coefficiente di equivalenza tra il generico asse reale, caratterizzato da un peso P_i e tipologia T_i e l'asse singolo standard da 8,2 ton ed è definito dalla seguente relazione:

$$CSN_i = CSN(P_i, T_i, PSI_f) = 10^{-A}$$

in cui:

$$A = \left\{ 4.79 \cdot [\log(18 + 1) - \log(0.225 \cdot P_i + T_i)] + 4.33 \cdot \log(T_i) + \frac{G}{B_i} - \frac{G}{B^*} \right\}$$

$$G = \log \frac{PSI_i - PSI_f}{2.7}$$

$$B_i = 0.40 + \frac{0.081 \cdot (0.225 \cdot P_i + T_i)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19} \cdot T_i^{3.23}}$$

- $PSI_i - PSI_f = \Delta PSI$ = indice di servizio iniziale e finale (Present Serviceability Index), per la strada in oggetto si assume un valore pari a 2,1;
- B^* è il valore che B_i assume per gli assi singoli da 8,2 ton ($P_i=80$ kN, $T_i=1$);
- SN è l'indice strutturale precedentemente valutato.

Per la tipologia di strada e le caratteristiche della sovrastruttura da verificare si sono svolti i calcoli e si riportano di seguito i risultati ottenuti:

TIPO DI VEICOLO	FREQUENZA VEICOLO	P_i (kN)	T_i	B_i	G	A	CSN_i	$n \cdot CSN_i$
1. Autocarri leggeri	-	-	-	-	-	-	-	-
2. Autocarri leggeri	0,131	15	1	0,401	-0,109	3,004	0,0010	0,0001
2. Autocarri leggeri	0,131	30	1	0,405	-0,109	1,818	0,0152	0,0020
3. Autocarri medi e pesanti	0,395	40	1	0,412	-0,109	1,292	0,0511	0,0202
3. Autocarri medi e pesanti	0,395	80	1	0,493	-0,109	0,000	1,0000	0,3950
4. Autocarri medi e pesanti	0,105	50	1	0,422	-0,109	0,876	0,1330	0,0140
4. Autocarri medi e pesanti	0,105	110	1	0,647	-0,109	-0,579	3,7972	0,3987
5. Autocarri pesanti	0,079	40	1	0,412	-0,109	1,292	0,0511	0,0040
5. Autocarri pesanti	0,079	160	2	0,493	-0,109	-0,138	1,3755	0,1087
6. Autocarri pesanti	0,026	60	1	0,439	-0,109	0,535	0,2917	0,0076
6. Autocarri pesanti	0,026	200	2	0,584	-0,109	-0,546	3,5155	0,0914
7. Autotreni e Autoarticolati	0,026	40	1	0,412	-0,109	1,292	0,0511	0,0013
7. Autotreni e Autoarticolati	0,026	90	1	0,533	-0,109	-0,216	1,6446	0,0428
7. Autotreni e Autoarticolati	0,026	80	1	0,493	-0,109	0,000	1,0000	0,0260
7. Autotreni e Autoarticolati	0,026	80	1	0,493	-0,109	0,000	1,0000	0,0260
8. Autotreni e Autoarticolati	0,025	60	1	0,439	-0,109	0,535	0,2917	0,0073
8. Autotreni e Autoarticolati	0,025	100	1	0,584	-0,109	-0,408	2,5557	0,0639
8. Autotreni e Autoarticolati	0,025	100	1	0,584	-0,109	-0,408	2,5557	0,0639
8. Autotreni e Autoarticolati	0,025	100	1	0,584	-0,109	-0,408	2,5557	0,0639
9. Autotreni e Autoarticolati	0,026	40	1	0,412	-0,109	1,292	0,0511	0,0013
9. Autotreni e Autoarticolati	0,026	160	2	0,493	-0,109	-0,138	1,3755	0,0358
9. Autotreni e Autoarticolati	0,026	160	2	0,493	-0,109	-0,138	1,3755	0,0358
10. Autotreni e Autoarticolati	0,025	60	1	0,439	-0,109	0,535	0,2917	0,0073

10. Autotreni e Autoarticolati	0,025	180	2	0,533	-0,109	-0,355	2,2622	0,0566
10. Autotreni e Autoarticolati	0,025	200	2	0,584	-0,109	-0,546	3,5155	0,0879
11. Autotreni e Autoarticolati	0,026	40	1	0,412	-0,109	1,292	0,0511	0,0013
11. Autotreni e Autoarticolati	0,026	100	1	0,584	-0,109	-0,408	2,5557	0,0664
11. Autotreni e Autoarticolati	0,026	240	3	0,493	-0,109	-0,219	1,6576	0,0431
12. Autotreni e Autoarticolati	0,026	60	1	0,439	-0,109	0,535	0,2917	0,0076
12. Autotreni e Autoarticolati	0,026	110	1	0,647	-0,109	-0,579	3,7972	0,0987
12. Autotreni e Autoarticolati	0,026	270	3	0,533	-0,109	-0,436	2,7260	0,0709
13. Mezzi d'opera	0,005	50	1	0,422	-0,109	0,876	0,1330	0,0007
13. Mezzi d'opera	0,005	120	1	0,724	-0,109	-0,736	5,4429	0,0272
13. Mezzi d'opera	0,005	390	3	0,816	-0,109	-1,099	12,5638	0,0628
14. Autobus	-	-	-	-	-	-	-	-
15. Autobus	-	-	-	-	-	-	-	-
16. Autobus	0,105	50	1	0,422	-0,109	0,876	0,1330	0,0140
16. Autobus	0,105	80	1	0,493	-0,109	0,000	1,0000	0,1050
							Totale	2,0590

Dai risultati ottenuti si perviene al valore di CSN che è pari a 2,0590 e quindi:

$$N_{8,2} = 12.718.537 \times 2,0590 = 26.187.867 \text{ veicoli}$$

Altro metodo:

I dati di ingresso utilizzati per il calcolo sono riportati nella tabella seguente.

Classificazione strada	B
TGM	15000 veic/h
Numero giorni commerciali per settimana (gg)	7
Aliquota di traffico per direzione più carica (pd)	50 %
Percentuale veicoli commerciali (p)	10 %
Aliquota di veicoli commerciali sulla corsia di marcia normale (pl)	90 %
Coefficiente di dispersione delle traiettorie (d)	
Numero medio di assi per veicolo commerciale (na)	
Tasso crescita del traffico durante la vita utile (r)	3,50 %
Vita utile in anni (n)	50 anni

Di seguito si riportano rispettivamente la Tabella 9 "Tipi di veicoli commerciali, numero di assi, distribuzione dei carichi per asse" e la Tabella 10 "Tipici spettri di traffico dei veicoli commerciali per tipo di strada" ricavati dal Catalogo Italiano delle Pavimentazioni.

Tabella 11 – Tipi di veicoli commerciali, numero di assi, distribuzione dei carichi per asse

TIPO DI VEICOLO	N° ASSI	% VEICOLI	Peso assi (ton)														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		

1. Autocarri leggeri	2	12,20%	Numero di assi distribuiti per peso	1	1														
2. Autocarri leggeri	2	0,00%			1	1													
3. Autocarri medi e pesanti	2	24,40%					1			1									
4. Autocarri medi e pesanti	2	14,60%						1							1				
5. Autocarri pesanti	3	2,40%					1			2									
6. Autocarri pesanti	3	12,20%							1					2					
7. Autotreni e Autoarticolati	4	2,40%					1			2	1								
8. Autotreni e Autoarticolati	4	4,90%							1					3					
9. Autotreni e Autoarticolati	5	2,40%					1			4									
10. Autotreni e Autoarticolati	5	4,90%							1			2	2						
11. Autotreni e Autoarticolati	5	2,40%					1			3		1							
12. Autotreni e Autoarticolati	5	4,90%							1			3			1				
13. Mezzi d'opera	5	0,10%							1							1	3		
14. Autobus	2	0,00%							1			1							
15. Autobus	2	0,00%								1			1						
16. Autobus	2	12,20%							1			1							
TOTALE		100,00%																	

Tabella 12 – Tipici spettri di traffico dei veicoli commerciali per tipo di strada

TIPO DI VEICOLO	% VEICOLI	Numero di assi distribuiti per peso	Peso assi (ton)																
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13				
1	12,20%		12,20%	12,20%															
2	0,00%																		
3	24,40%				24,40%				24,40%										
4	14,60%					14,60%						14,60%							
5	2,40%				2,40%				4,80%										
6	12,20%							12,20%				24,40%							
7	2,40%				2,40%				4,80%	2,40%									
8	4,90%							4,90%				14,70%							
9	2,40%				2,40%				9,60%										
10	4,90%							4,90%			9,80%	9,80%							
11	2,40%				2,40%				7,20%		2,40%								
12	4,90%							4,90%			14,70%		4,90%						
13	0,10%					0,10%										0,10%	0,30%		
14	0,00%																		
15	0,00%																		
16	12,20%						12,20%			12,20%									
			12,20%	12,20%	-	34,00%	26,90%	26,90%	-	63,00%	26,90%	51,30%	19,50%	0,10%	0,30%				

Si passa dallo spettro di traffico a quello degli assi nota la composizione degli assi che formano ciascuno dei 16 tipi di veicoli commerciali. Il prodotto di ciascun elemento della tabella riportante la "distribuzione dei carichi per asse" per il vettore delle frequenze, con cui si presentano i veicoli commerciali, consente di valutare le frequenze parziali di ciascun asse.

Peso asse (ton)	Frequenza asse	Coefficiente di equivalenza 4 [^]	Transiti da 8t

1	12,20%	0,00024	0,003%
2	12,20%	0,00391	0,048%
3	0,00%	0,01978	0,000%
4	34,00%	0,0625	2,125%
5	26,90%	0,15259	4,105%
6	26,90%	0,31641	8,511%
7	0,00%	0,58618	0,000%
8	63,00%	1,00000	63,000%
9	26,90%	1,60181	43,089%
10	51,30%	2,44141	125,244%
11	19,50%	3,57446	69,702%
12	0,10%	5,0625	0,506%
13	0,30%	6,9729	2,092%
TOTALE	273,30%	TOTALE	318,425%

Il passaggio di 100 veicoli commerciali determina il transito di 273,30 assi di differente peso, che corrispondono al passaggio di 318,425 assi equivalenti da 8 t.

3.6.3 Verifica

Il metodo empirico si conclude verificando che il numero di passaggi di standard ($N_{8,2}$), risulti inferiore al numero massimo di passaggi di assi standard sopportabili dalla pavimentazione ($W_{8,2}$).

Nel caso in esame si ottiene:

$N_{8,2}$	<	$W_{8,2}$
26.187.867	<	199.073.259
VERIFICATA		

4 ANALISI DI SICUREZZA

4.1 OGGETTO

Il presente documento ha come oggetto l'analisi degli aspetti connessi con le esigenze di sicurezza secondo quanto previsto dal D.M. del 5.11.2001, "Norme funzionali e geometriche e per la costruzione delle strade" e dal D.M. 19.04.2006, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni", relativamente al progetto di adeguamento della S.S. 67 Tosco-Romagnola e lo svincolo di Porto Fuori.

L'art. 3 del D.M. del 5.11.2001, infatti, prevede che nel caso in cui particolari condizioni locali, ambientali, paesaggistiche, archeologiche ed economiche non consentano il pieno rispetto delle norme stesse, possono essere adottate soluzioni progettuali diverse a condizione che le stesse siano supportate da specifiche analisi di sicurezza dalla quale risultino analizzati gli aspetti connessi con le esigenze di sicurezza e dimostrando che l'intervento, nel suo complesso, soddisfa le caratteristiche dell'opera attesa.

Analogamente, l'art. 2 comma 1 del D.M. 19.04.2006, prevede che la deroga alle norme contenute nel decreto stesso siano supportate da specifiche analisi di sicurezza.

4.2 INDICAZIONI GLOBALI DI SICUREZZA PER LA VIABILITÀ PRINCIPALE

Nel seguito sarà stimato l'incremento del livello di sicurezza attuato dal progetto rispetto all'infrastruttura esistente tramite la valutazione di **indicatori globali** delle performance di sicurezza.

L'analisi in oggetto è stata sviluppata andando a definire, per tutti gli aspetti connessi con la sicurezza stradale, degli indicatori globali delle performance di sicurezza offerte dalla futura infrastruttura in funzione delle scelte progettuali sviluppate nel progetto definitivo, al fine di poter valutare, nello spirito di quanto richiesto dal D.M. del 5.11.2001 e dal D.M. 19.04.2006, il mantenimento del livello di sicurezza che l'intervento nel suo complesso realizza.

4.2.1 Distanze di arresto

Per il calcolo delle distanze puntuali per l'arresto sono stati adottati i criteri previsti dalla normativa vigente in termini di condizioni medie di veicolo seppur applicati ad un diverso intervallo di velocità di progetto. Ciò consente una valutazione aggiornata delle condizioni effettive di circolazione e un conseguente incremento di sicurezza.

4.2.2 Distanze di visuale libera

L'esistenza di opportune visuali libere costituisce primaria ed inderogabile condizione di sicurezza della circolazione. Per distanza di visuale libera si intende la lunghezza del tratto di strada che il conducente riesce a ve-

dere davanti a sé senza considerare l'influenza del traffico, delle condizioni atmosferiche e di illuminazione della strada.

L'adozione delle barriere di sicurezza, pur aumentando intrinsecamente il livello di sicurezza della strada, costituisce di fatto, un ostacolo alla visuale nelle curve in generale. Per tale motivo si è rende necessario analizzare le condizioni di visibilità lungo l'intero tracciato, considerando come continua la presenza delle barriere di sicurezza a margine.

Per tutta l'estensione del tracciato dovranno essere garantite le distanze di visibilità per l'arresto compatibili con la velocità di percorrenza imposta.

4.2.3 Sezione trasversale

La sezione trasversale adottata per i collegamenti principali è quella di tipo B1. Per le rampe di ingresso/uscita dall'SS67 nonché per la rampa bidirezionale costituente lo scavalco, è stata adottata la sezione trasversale di tipo rampa.

In una situazione standard, l'incremento di sezione trasversale di una piattaforma stradale comporta complessivamente un incremento delle velocità operative di percorrenza dell'utenza stradale. Tale sezione maggiorata rappresenta, dunque, un miglioramento della circolazione.

4.2.4 Barriere di sicurezza

Il progetto prevede ovunque l'impiego di dispositivi di contenimento rispondenti alle prescrizioni contenute nelle "Istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza e prescrizioni tecniche per le prove ai fini dell'omologazione" ovvero il D.M. n° 223 del 18/2/1992 e successive modificazioni ed integrazioni.

I margini della carreggiata stradale, infine, atti ad accogliere i dispositivi di ritenuta, sono stati dimensionati per consentire il regolare funzionamento del sistema barriera, rappresentato dalla barriera di sicurezza comprensiva del supporto o fondazione alla quale questa si collega.

4.3 CONCLUSIONI

Per concludere, nella presente specifica relativa all'analisi sulla sicurezza si dovranno riassumere in breve gli indicatori globali sulla sicurezza che assegnano la promozione in termini di sicurezza nella circolazione all'infrastruttura in questione:

- Distanze d'arresto calcolate come da normativa;
- Visibilità per l'arresto, compatibile con la velocità imposta, garantita su tutto il tracciato;
- Sezione trasversale maggiorata;

- Barriere di sicurezza

La valenza degli elementi positivi di cui sopra e la loro lettura combinata concorrono a concludere che, nello spirito di quanto richiesto dal D.M. del 5.11.2001, l'intervento configurato in progetto mantiene o tutt'al più incrementa complessivamente la sicurezza del sistema viario in progetto.

5 TABULATI DI CALCOLO

Di seguito si riportano i tabulati di calcolo ottenuti dal software.

Dati generali sul tracciato Strada SS67	
Progressiva Iniziale (m): 0.0000	Lunghezza (m) : 4539.1158
Progressiva Finale (m): 4539.1158	
Strada Tipo : Autosole	
Intervallo di Velocità di progetto (Km/h): 1 <= Vp <= 0	

Rettifilo 1 ProgI 0.0000 - ProgF 0.6097			
Coordinate P.to Iniziale X:	49852.8773	Coordinate P.to Finale X:	49853.2996
Y:	46944.6405	Y:	46945.0803
Lunghezza :	0.6097	Azimut :	46
Vp (Km/h) = 103.6			
L >= Lmin =	164.5750 No		
L <= Lmax =	2280.1630 OK	Rsucc =	400.0000 Rsucc > Rmin = 0.6100 OK

Curva 2 Sinistra ProgI 0.6097 - ProgF 381.8163			
Coordinate vertice X:	49991.3709	Coordinate I punto Tg X:	49853.2996
		Coordinate I punto Tg Y:	46945.0803
Coordinate vertice Y:	47088.8233	Coordinate II punto Tg X:	49987.8661
		Coordinate II punto Tg Y:	47288.1057
Tangente Prim. 1:	165.0911	TT1 Tangente 1:	199.3132
Tangente Prim. 2:	165.0911	TT2 Tangente 2:	199.3132
Alfa Ang. al Vert.:	135	Numero Archi :	1

Clotoide in entrata ProgI 0.6097 - ProgF 68.6722			
Coordinate vertice X:	49884.7444	Coordinate I punto Tg X:	49853.2996
		Coordinate I punto Tg Y:	46945.0803
Coordinate vertice Y:	46977.8168	Coordinate II punto Tg X:	49899.0235
		Coordinate II punto Tg Y:	46995.4673
Raggio :	400.0000	Angolo :	5
Parametro N :	1.0000	Tangente lunga :	45.3922
Parametro A :	165.0000	Tangente corta :	22.7032
Scostamento :	0.4824	Sviluppo :	68.0625
Pti (%) :	-2.5	Ptf (%) :	7.0
Vp (Km/h) = 103.6			
A >= radq[(Vp^3-gVR(Ptf-Pti))/c]	= 164.100 OK		
A >= radq(R/dimax*Bi* Pti-Ptf *100)	= 147.900 OK		
A >= R/3	= 133.300 OK	A/Au = 1.000	A/Au >= 2/3 = 0.670 OK
A <= R	= 400.000 OK	A/Au = 1.000	A/Au <= 3/2 = 1.500 OK

Arco ProgI 68.6722 - ProgF 313.7538			
Coordinate vertice X:	49978.6002	Coordinate I punto Tg X:	49899.0235
Coordinate vertice Y:	47093.8332	Coordinate I punto Tg Y:	46995.4673
Coordinate centro curva X:	49588.0439	Coordinate II punto Tg X:	49987.1332
Coordinate centro curva Y:	47247.0457	Coordinate II punto Tg Y:	47220.0691
Raggio :	400.0000	Angolo al vertice :	35
Tangente :	126.5239	Sviluppo :	245.0816
Saetta :	18.6240	Corda :	241.2660
Pt (%) :	7.0		
Vp (Km/h) = 96.5			
R >= Rmin =	175.376 OK		
Sv >= Smin =	67.030 OK		
Pt >= Pmin =	7.000 OK		

Clotoide in uscita ProgI 313.7538 - ProgF 381.8163			
Coordinate vertice X:	49988.6643	Coordinate I punto Tg X:	49987.1332
		Coordinate I punto Tg Y:	47220.0691
Coordinate vertice Y:	47242.7205	Coordinate II punto Tg X:	49987.8661
		Coordinate II punto Tg Y:	47288.1057
Raggio :	400.0000	Angolo :	5
Parametro N :	1.0000	Tangente lunga :	45.3922
Parametro A :	165.0000	Tangente corta :	22.7032
Scostamento :	0.4824	Sviluppo :	68.0625
Pti (%) :	7.0	Ptf (%) :	-2.5
Vp (Km/h) = 103.6			
A >= radq[(Vp^3-gVR(Ptf-Pti))/c]	= 164.100 OK		
A >= radq(R/dimax*Bi* Pti-Ptf *100)	= 147.900 OK		
A >= R/3	= 133.300 OK	Ae/A = 1.000	Ae/A >= 2/3 = 0.670 OK
A <= R	= 400.000 OK	Ae/A = 1.000	Ae/A <= 3/2 = 1.500 OK

Rettifilo 3 ProgI 381.8163 - ProgF 1948.5532			
Coordinate P.to Iniziale X:	49987.8661	Coordinate P.to Finale X:	49960.3161
Y:	47288.1057	Y:	48854.6004
Lunghezza :	1566.7369	Azimut :	91
Vp (Km/h) = 120.0 L >= Lmin = 250.0000 OK Rprec = 400.0000 Rprec >= Rmin = 400.0000 OK L <= Lmax = 2640.0000 OK Rsucc = 3000.0000 Rsucc >= Rmin = 400.0000 OK			

Curva 4 Destra ProgI 1948.5532 - ProgF 2092.8653			
Coordinate vertice X:	49959.0470	Coordinate I punto Tg X:	49960.3161
Coordinate vertice Y:	48926.7562	Coordinate I punto Tg Y:	48854.6004
		Coordinate II punto Tg X:	49960.9642
		Coordinate II punto Tg Y:	48998.8977
Tangente Prim. 1:	66.2406	TT1 Tangente 1:	72.1670
Tangente Prim. 2:	66.2406	TT2 Tangente 2:	72.1670
Alfa Ang. al Vert.:	177	Numero Archi :	1

Clotoide in entrata ProgI 1948.5532 - ProgF 1974.2333			
Coordinate vertice X:	49960.0608	Coordinate I punto Tg X:	49960.3161
Coordinate vertice Y:	48869.1130	Coordinate I punto Tg Y:	48854.6004
		Coordinate II punto Tg X:	49959.9380
		Coordinate II punto Tg Y:	48880.2776
Raggio :	3000.0000	Angolo :	0
Parametro N :	0.3000	Tangente lunga :	14.5149
Parametro A :	1000.0000	Tangente corta :	11.1653
Scostamento :	0.0085	Sviluppo :	25.6800
Pti (%) :	-2.5	Ptf (%) :	2.7
Vp (Km/h) = 120.0 A >= radq[(Vp^3-gVR(Ptf-Pti))/c] = 0.000 OK A >= radq(R/dimax*Bi* Pti-Ptf *100) = 321.700 OK A >= R/3 = 1000.000 OK A/Au = 1.000 A/Au >= 2/3 = 0.670 OK A <= R = 3000.000 OK A/Au = 1.000 A/Au <= 3/2 = 1.500 OK			

Arco ProgI 1974.2333 - ProgF 2067.1852			
Coordinate vertice X:	49959.4267	Coordinate I punto Tg X:	49959.9380
Coordinate vertice Y:	48926.7545	Coordinate I punto Tg Y:	48880.2776
Coordinate centro curva X:	52959.7565	Coordinate II punto Tg X:	49960.3555
Coordinate centro curva Y:	48913.2789	Coordinate II punto Tg Y:	48973.2249
Raggio :	3000.0000	Angolo al vertice :	2
Tangente :	46.4797	Sviluppo :	92.9520
Saetta :	0.3600	Corda :	92.9483
Pt (%) :	2.7		
Vp (Km/h) = 120.0 R >= Rmin = 175.376 OK Sv >= Smin = 83.330 OK Pt >= Pmin = 2.675 OK			

Clotoide in uscita ProgI 2067.1852 - ProgF 2092.8653			
Coordinate vertice X:	49960.5786	Coordinate I punto Tg X:	49960.3555
Coordinate vertice Y:	48984.3880	Coordinate I punto Tg Y:	48973.2249
		Coordinate II punto Tg X:	49960.9642
		Coordinate II punto Tg Y:	48998.8977
Raggio :	3000.0000	Angolo :	0
Parametro N :	0.3000	Tangente lunga :	14.5149
Parametro A :	1000.0000	Tangente corta :	11.1653
Scostamento :	0.0085	Sviluppo :	25.6800
Pti (%) :	2.7	Ptf (%) :	-2.5
Vp (Km/h) = 120.0 A >= radq[(Vp^3-gVR(Ptf-Pti))/c] = 0.000 OK A >= radq(R/dimax*Bi* Pti-Ptf *100) = 321.700 OK A >= R/3 = 1000.000 OK Ae/A = 1.000 Ae/A >= 2/3 = 0.670 OK A <= R = 3000.000 OK Ae/A = 1.000 Ae/A <= 3/2 = 1.500 OK			

Rettifilo 5 ProgI 2092.8653 - ProgF 4539.1158			
Coordinate P.to Iniziale X:	49960.9642	Coordinate P.to Finale X:	50025.9484
Y:	48998.8977	Y:	51444.2849
Lunghezza :	2446.2505	Azimut :	88
Vp (Km/h) = 120.0 L >= Lmin = 250.0000 OK Rprec = 3000.0000 Rprec >= Rmin = 400.0000 OK L <= Lmax = 2640.0000 OK			