

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**

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTISTI: <i>Zollet Ingegneria Srl</i>		GRUPPO DI PROGETTAZIONE			
IL GEOLOGO					
COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE					
VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO					
PROTOCOLLO	DATA				

**PROGETTO STRADALE
Relazioni
Relazione stradale**

CODICE PROGETTO PROGETTO BO328		NOME FILE T00PS00TRARE01B.doc			REVISIONE	SCALA
		CODICE ELAB. T00PS00TRARE01			B	–
B	REVISIONE 1' EMISSIONE	Febbraio 2021	A. De Lullo	M. Zanchettin	L. Zollet	
A	EMISSIONE	Novembre 2020	L. De Carli	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.

PROGETTO DEFINITIVO

Lavori di adeguamento da Classe al Porto di Ravenna

RELAZIONE STRADALE

INDICE

1	INTRODUZIONE	4
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
3	VIABILITÀ	6
4	INTERSEZIONI	8
4.1	SVINCOLI	8
4.1.1	Svincolo A	8
4.1.2	Svincolo B	10
4.1.3	Svincolo C	10
4.1.4	Svincolo D	10
4.2	RAMPE DI SVINCOLO MONODIREZIONALI E BIDIREZIONALI	11
4.2.1	Corsia di entrata nella S.S.67	12
4.2.2	Corsia di uscita dalla S.S.67	14
4.3	ACCESSI E AREE DI SERVIZIO	15
5	CRITERI GEOMETRICI DI TRACCIAMENTO	17
5.1	DIAGRAMMA DELLE VELOCITÀ	18
5.2	TRATTI DI TRANSIZIONE	19
5.3	CRITERI DI VERIFICA DELLA VISIBILITÀ LUNGO IL TRACCIATO	19
6	DIMENSIONAMENTO PAVIMENTAZIONE STRADALE	20
6.1.1	Calcolo del numero di assi standard – Traffico sopportabile	21
6.1.2	Calcolo del numero di assi standard equivalente	28
6.1.3	Verifica per pavimentazione con coefficienti a_i e m_i misto granulare	35
6.1.4	Verifica per pavimentazione con coefficienti a_i e m_i misto cementato	35
6.2	ALLARGAMENTO CURVA AD INIZIO INTERVENTO (PK 218 + 550)	36
6.2.1	Caso 1: Allargamento corsie	37
6.2.2	Caso 2: Adeguamento limite di velocità	37
7	ANALISI DI SICUREZZA	38
7.1	OGGETTO	38
7.2	INDICAZIONI GLOBALI DI SICUREZZA PER LA VIABILITÀ PRINCIPALE	38
7.2.1	Distanze di arresto	38
7.2.2	Distanze di visuale libera	39
7.2.3	Sezione trasversale	39
7.2.4	Barriere di sicurezza	39

7.3	CONCLUSIONI	39
8	ALLEGATO: TABULATO DI TRACCIAMENTO	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. 16 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 B) 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. 16 e termina in corrispondenza dello svincolo di Marina di Ravenna al km 223+700, per uno sviluppo complessivo di circa 5,15 km.

Per il diretto collegamento dei traffici fra il Porto Industriale di Ravenna e la circonvallazione alla città lungo la S.S.16 "Adriatica", fu predisposto il progetto della variante e successivamente 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.16 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.16 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 VIABILITÀ

La viabilità definita del presente progetto appartiene 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) ed le opere d'arte (viadotti), in corrispondenza dei quali la carreggiata verrà adeguata dimensionalmente rispetto all'esistente.

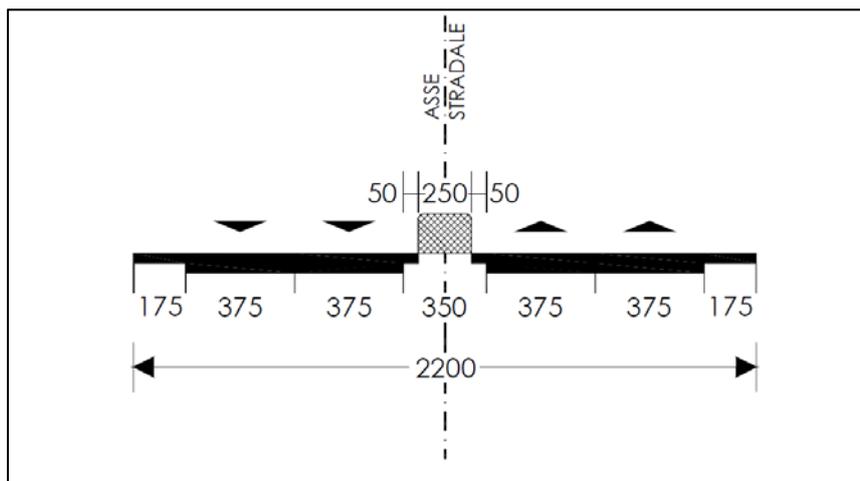


Figura 1 - Categoria B Strada extraurbana principale – soluzione base a 2 + 2 corsie di marcia

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, risvoltato 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:

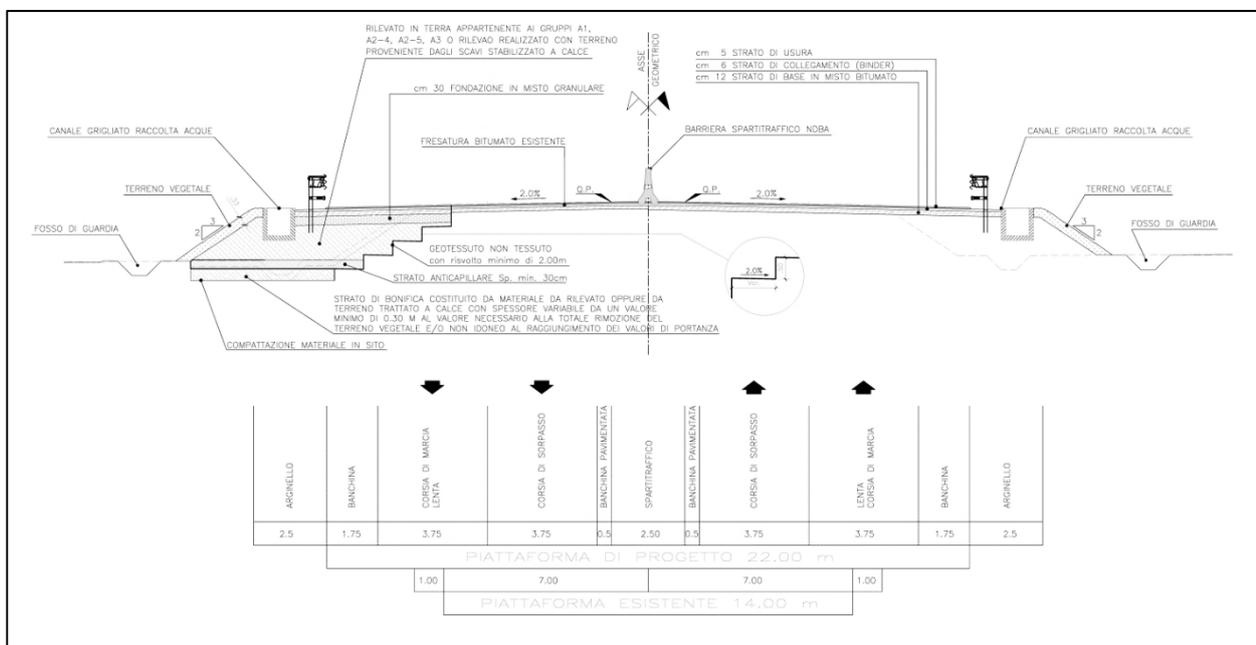


Figura 2 - Sezione tipologica

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.

4 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 ed insieme anche una relazione contenuta nella viabilità secondaria.

4.1 SVINCOLI

Qui di seguito si va a rappresentare graficamente alcuni stralci delle planimetrie di progetto riguardo la configurazione planimetrica delle zone di svincolo che vengono mantenute in esercizio. Nel rispetto della normativa e della sicurezza stradale molti accessi pubblici/privati in questa tipologia di strada (classe tipo B1) sono stati opportunamente chiusi prevedendo l'accessibilità a tali area attraverso idonea viabilità secondaria.

Tutte le rampe degli svincoli, indipendentemente dall'andamento crescente delle ascisse curvilinee, sono state denominate NI (Nord Ingresso), NU (Nord Uscita), SI (Sud Ingresso), SU (Sud Uscita), e sono costituite da un tratto in aderenza all'SS67 esistente e un tratto in rilevato che collega le rampe stesse alle strade esistenti o intersezioni.

4.1.1 Svincolo A

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.

L'intervento di adeguamento della strada in sottovia prevede la realizzazione di una carreggiata con larghezza utile 22.00 m, alla quale devono essere aggiunti circa 2.50 m su ambo i lati per consentire lo sviluppo della capacità deformativa delle barriere in caso di urto ed inoltre lo spazio necessario per le corsie di decelerazione. Ne deriva che la luce attuale è insufficiente e pertanto si rende necessaria la modifica dell'opera d'arte; è da notare che questo avrà come conseguenza un nuovo assetto dell'intera struttura.

L'ipotesi avanzata in fase progettuale prevede l'adeguamento del sovrappasso in sede con demolizione e ricostruzione dell'opera, con allargamento della luce netta a 33.00 m in unica campata.

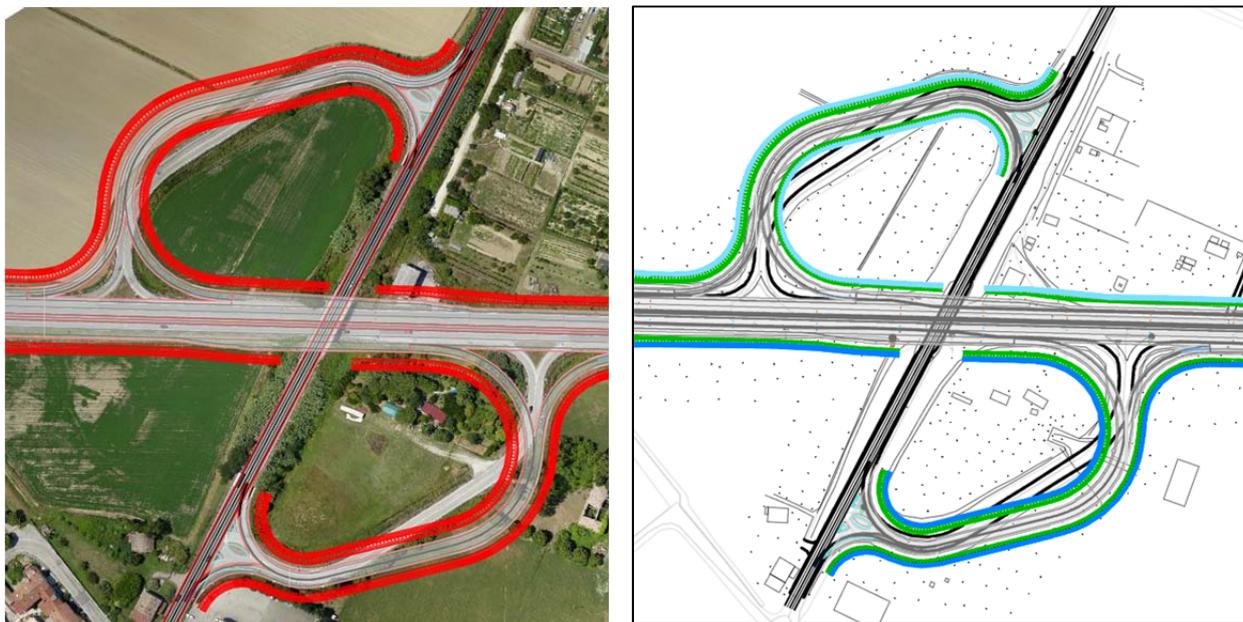


Figura 3 - Adeguamento di progetto dello Svincolo A

La possibilità di mantenere attivo il traffico lungo tale direttrice, principalmente le utenze ciclo pedonali, il cui percorso alternativo richiederebbe un sostanziale allungamento chilometrico in caso di chiusura dell'opera, ha condotto alla valutazione di una soluzione alternativa: la realizzazione di una nuova opera d'arte di scavalco in affiancamento all'esistente; dato il contesto di inserimento dell'opera e le necessità areali per l'adeguamento degli svincoli, si è ipotizzato un nuovo sovrappasso in affiancamento non parallelo all'esistente, ma una certa angolazione in piano (riportato nella planimetria sottostante) e i relativi raccordi.

Tale soluzione con il mantenimento dei flussi ciclo-pedonali, però, richiederebbe un notevole innalzamento dei costi di realizzazione e tempistiche maggiori (duplicate) rispetto alla totale demolizione e ricostruzione dell'opera.

A seguito delle considerazioni precedenti, dunque, si propone di adottare la prima soluzione che richiede la totale demolizione e ricostruzione dell'opera con conseguente interruzione temporanea del traffico: verrà realizzato un sovrappasso costituito da un impalcato a sezione mista costituito da n.8 travi in acciaio (profili HL1100M) e da una soletta in c.a. di spessore 20 cm, con luce netta di 33.00 m.

Per i dettagli si rimanda alla relazione specialistica *T00CV00STRRE01B*.

4.1.2 Svincolo B

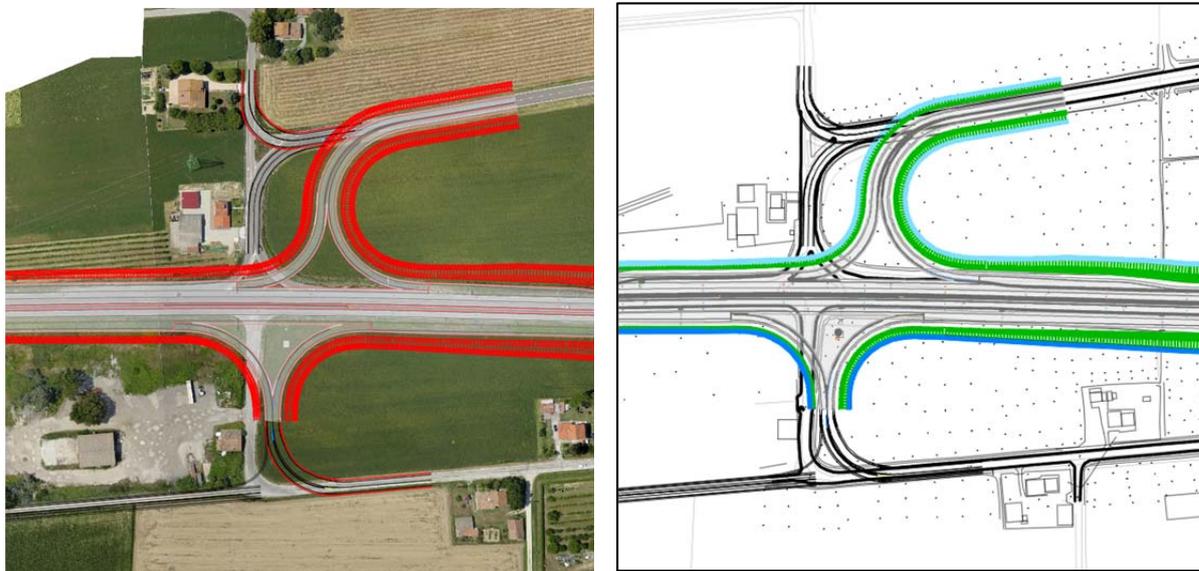


Figura 4 - Adeguamento di progetto dello Svincolo B

4.1.3 Svincolo C

Lo svincolo C in nuova configurazione è caratterizzato:

- In direzione Sud da una corsia di uscita, una corsia di immissione ed una rampa bidirezionale;
- In direzione Nord da una rampa monodirezionale e una corsia di immissione.

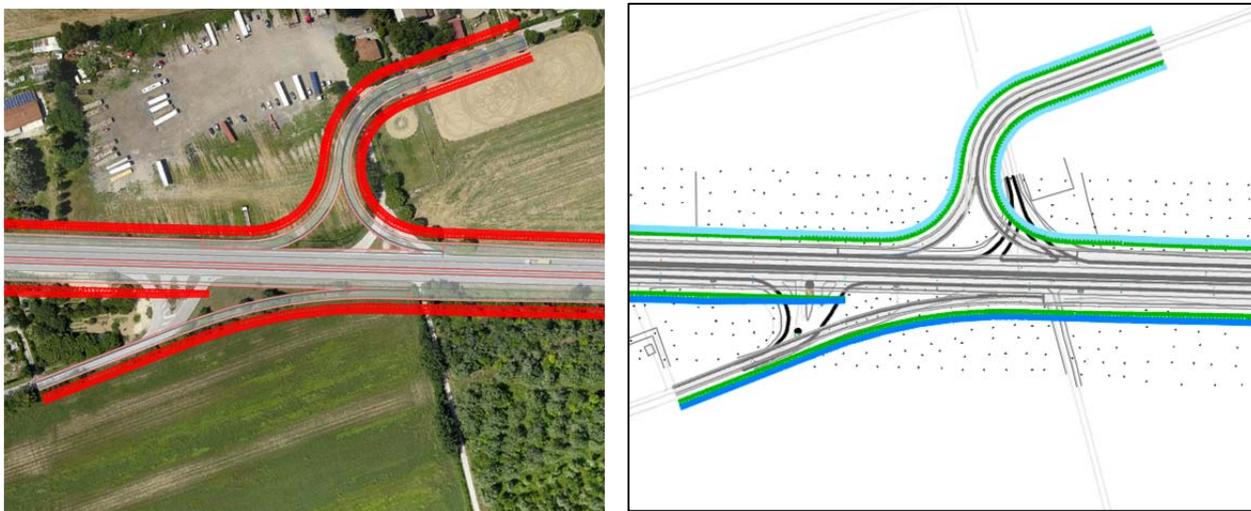


Figura 5 - Adeguamento di progetto dello Svincolo C

4.1.4 Svincolo D

Lo svincolo complessivo è caratterizzato da 2 rampe bidirezionali. Vista la concomitanza di un'altra progettazione riguardante l'Hub Portuale (Porto di Ravenna), le indicazioni dateci dalla committenza sono state quelle di adeguare

solamente la rampa bidirezionale in direzione Sud questo in direzione Nord verrà adeguata con la progettazione dell'Hub.

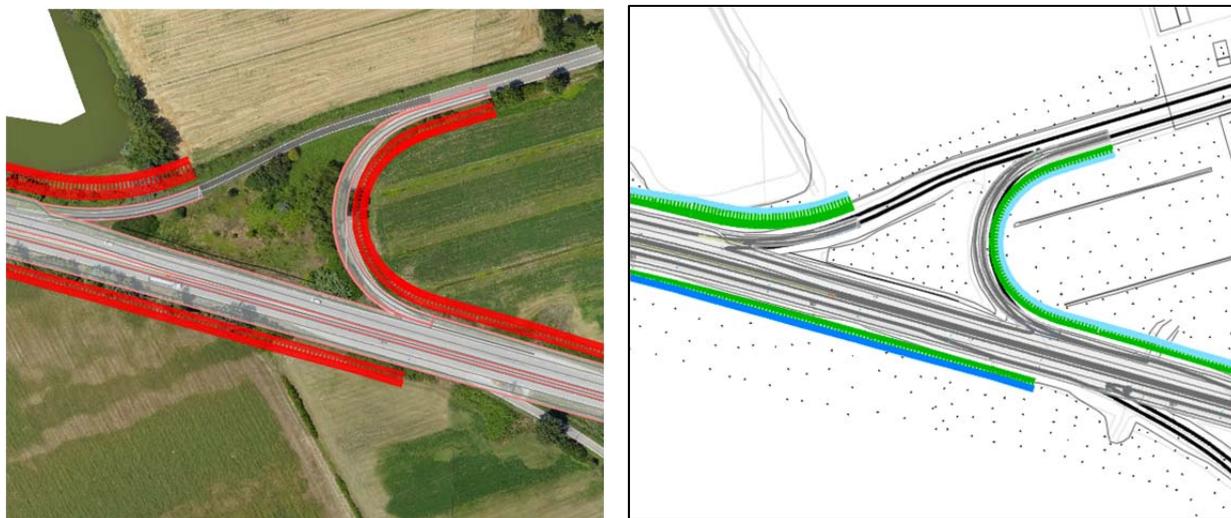


Figura 6: Adeguamento di progetto dello Svincolo D

4.2 RAMPE DI SVINCOLO MONODIREZIONALI E BIDIREZIONALI

Le rampe per i diversi svincoli appena rappresentati sono caratterizzati da rampe monodirezionali o bidirezionali. In particolare, lo svincolo C è stato rivisto a livello progettuale con un duplice scopo: il primo riguardante l'applicazione della normativa stradale e degli svincoli e la seconda di evitare espropri di edifici in aderenza al tracciato principale. In prima ipotesi si è ipotizzato di realizzare solamente un'uscita in direzione Sud ed un'entrata in direzione Nord. Data la presenza di un'attività di autotrasporti nei pressi di tale svincolo in direzione Sud e la difficoltà nel garantire una viabilità alternativa efficiente per l'immissione sulla statale, il tracciato è stato rimodulato ricavando una corsia di uscita e una corsia di immissione in direzione Sud.

Le rampe monodirezionali di svincolo sono diverse a seconda che si tratti di corsia specializzata di accelerazione/immissione e decelerazione/diversione oppure di rampa semplice.

Le rampe per entrambi i sensi di marcia si sviluppano in rilevato e la velocità di progetto dello svincolo è definita 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 tabella:

Tabella 1 - Velocità di progetto per le varie tipologie di rampe

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 - Caratteristiche plano-altimetriche delle 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

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.

Le corsie di accelerazione/decelerazione nel tratto complanare in aderenza all'infrastruttura stradale esistente allargata ed adeguata a normativa, hanno una larghezza pari a 3,75 m e una banchina in destra di 1,75 m e sono completate da un arginello di 2,50 m dove trova posto l'installazione della barriera di sicurezza stradale. Sul lato sinistro della corsia viene a trovarsi la corsia di marcia normale della SS67.

La corsia di accelerazione/decelerazione, una volta terminato il tratto complanare in aderenza con l'infrastruttura esistente, si trasforma in rampa monodirezionale/bidirezionale in funzione al tipo di svincolo. La rampa di svincolo monodirezionale è costituita da una corsia di marcia di 4 m e da una banchina in destra e sinistra pari ad 1 m, mentre per la rampa bidirezionale una corsia per senso di marcia di 3,50 m ed una banchina destra di 1 m. Per entrambe le tipologie, si presenta un allargamento variabile in curva dal lato interno per garantire le visuali libere.

L'arginello erboso presenta una larghezza di 2,50 m e in esso trova posto l'installazione della barriera di sicurezza stradale.

4.2.1 Corsia di entrata nella S.S.67

Per le corsie di accelerazione la velocità di progetto varia dalla velocità di progetto dell'ultimo elemento curvilineo, proprio della rampa, all'80% della velocità di progetto della corrente principale della strada su cui si immette la corsia ovvero 96 km/h essendo la velocità di progetto 120 km/h. L'accelerazione ammessa è di 1 m/sec^2 .

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

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

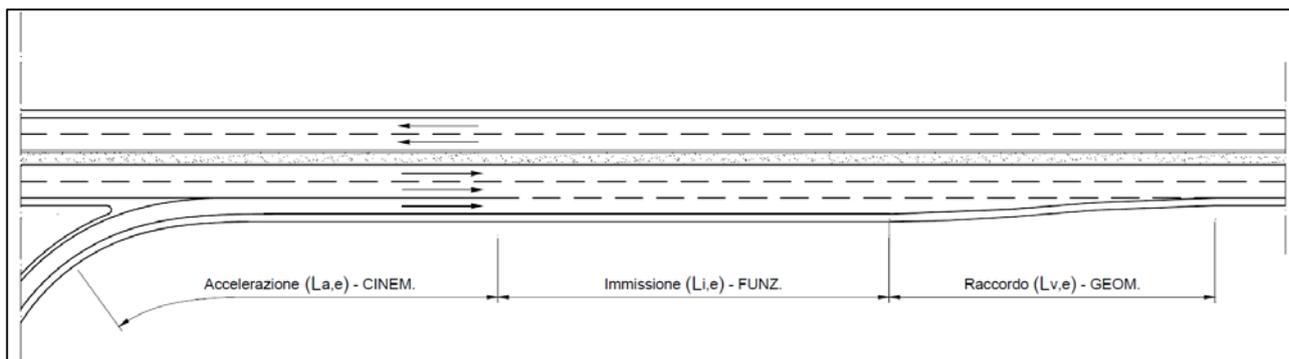


Figura 7 - Elementi della corsia di entrata (D.M. 19/04/2006)

Tratto di accelerazione

Seguendo le indicazioni fornite dalla DM 19/04/2006 (Tabella 1) 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:

$$L = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2a}$$

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 1)
- $a = 1.0$ m/s²

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

Tratto di immissione

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

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

Indicando con $V_2 = 40 \frac{km}{h}$ 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

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

4.2.2 Corsia di uscita dalla S.S.67

Per le corsie di decelerazione la velocità di progetto varia dalla velocità di progetto della corrente principale dove si stacca la rampa (120 km/h) alla velocità propria della rampa nel primo elemento curvilineo. La decelerazione ammessa è di 3 m/sec^2 .

La corsia di uscita (o di diversione) è costituita dai seguenti tratti (*Figura 8*):

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

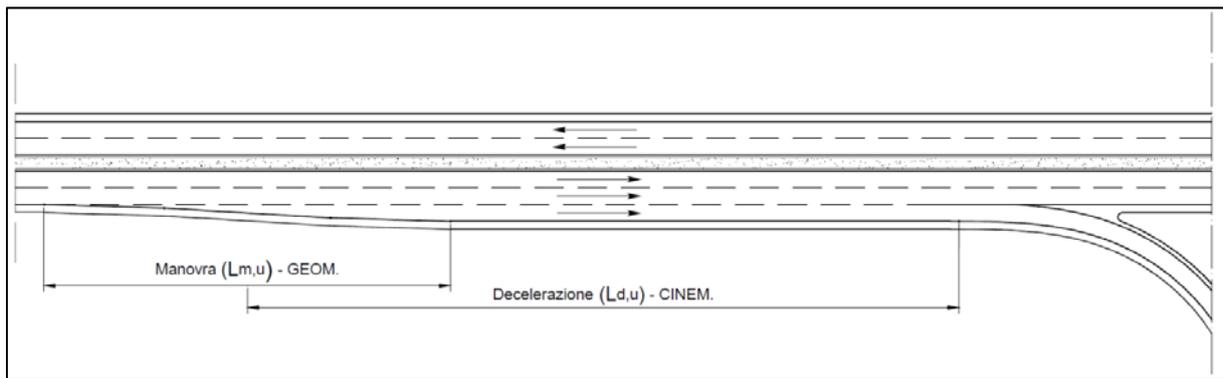


Figura 8: Elementi della corsia di uscita (D.M. 19/04/2006)

Tratto di manovra

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

Tratto di decelerazione

$L_{m,u} = 84,00 \text{ m}$, come da indicazioni in Normativa.

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 nella tabella seguente:

Tabella 3 - Larghezze elementi modulari

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	-

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/entrata		Corsia diversione/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.

4.3 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 carbolubrificanti per autotrazione, come previsto dall'art. 51, comma 7, del Reg. C.d.S..

Per il caso in esame la 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 adeguarla, in quanto lo sviluppo totale non rispetterebbe i limiti fisici con la corsia di uscita dello svincolo di Porto Fuori. Di conseguenza si è preferito prediligere l'adeguamento della corsia con maggior flusso e quindi maggior traffico. Inoltre la normativa italiana di riferimento si attiene alle disposizioni del D.M. 05/11/2001, riguardante le nuove costruzioni, ed essendo la strada in oggetto un adeguamento della strada esistente, l'applicazione della normativa si applica dove è possibile.

5 CRITERI GEOMETRICI DI TRACCIAMENTO

Per la composizione tridimensionale dell'asse di progetto è stata adottata la seguente procedura di tracciamento:

- definizione dell'asse planimetrico esistente: l'obbiettivo era quello di mantenere l'asse dell'attuale tracciato coincidente con l'asse di progetto e farne solamente un allargamento bilaterale non simmetrico del rilevato stradale;
- redazione del diagramma di velocità;
- verifica della composizione planimetrica degli elementi d'asse sulla base del diagramma di velocità. Qualora non fossero verificati anche solo alcuni elementi d'asse di tracciato occorre riprendere la geometria di interi tratti ed eseguire la procedura iterativamente;
- definizione del profilo longitudinale altimetrico di progetto;
- verifica della composizione altimetrica degli elementi d'asse sulla base del diagramma di velocità. Qualora non fossero verificati anche solo alcuni elementi d'asse di profilo occorre riprendere la geometria di interi tratti ed eseguire la procedura iterativamente;
- verifica del coordinamento plano-altimetrico. Qualora non fossero verificati anche solo alcuni tratti d'asse occorre riprendere la geometria di interi tratti di planimetria e/o di profilo ed eseguire la procedura iterativamente;
- calcolo delle visuali libere e confronto con le seguenti distanze:
 - distanza di visibilità per l'arresto che deve essere garantita lungo tutto il tracciato. Tale distanza 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 definita come la 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 il cambio corsia che è pari alla lunghezza del tratto di strada occorrente per il passaggio da una corsia a quella adiacente nella manovra di deviazione in corrispondenza di punti singolari (intersezioni, uscite, diversioni, ecc.). in questo caso deve venir verificata la possibilità di vedere il limite più lontano della corsia adiacente a quella impegnata dal conducente.

Nel caso in cui la distanza di visibilità puntualmente richiesta (arresto o cambio corsia) risulti inferiore a quella di visuale libera si interviene sulla piattaforma operando opportuni allargamenti della banchina (arretramento degli ostacoli alla visibilità) di entità variabile a seconda delle necessità. Nel caso la distanza di visibilità per il sorpasso non fosse sufficiente è necessario imporre il divieto di sorpasso mediante l'apposizione dell'opportuna cartellonistica stradale.

Si rimanda alla specifica documentazione (D.M. 05/11/2001) per i criteri utilizzati per la definizione e successiva verifica dei singoli elementi d'asse di tracciato, sia dal punto di vista planimetrico che altimetrico.

5.1 DIAGRAMMA DELLE VELOCITÀ

Come previsto dalla normativa vigente in materia di progettazione stradale, le verifiche geometriche di tracciato vengono compiute partendo dal diagramma delle velocità costruito lungo tutto il tracciato o tronchi di esso. 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 entro l'intervallo di velocità di progetto predefinito per il singolo tratto di interesse.

Il modello semplificato di variazione della velocità lungo il tracciato si basa sulle seguenti ipotesi:

- in rettilineo, sugli archi di cerchio con raggio non inferiore a $R_{2,5}$ (2187 m) 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 dall'abaco contenuto nella normativa;
- i valori dell'accelerazione e della decelerazione restano determinati in $0,8 \text{ m/s}^2$;
- si assume che le pendenze longitudinali non influenzino la velocità di progetto.

Una volta ottenuto il diagramma di velocità e definito la distanza di transizione (DT) come la distanza necessaria per passare da una velocità di progetto V_{p1} a una V_{p2} e la distanza di riconoscimento (D_r) come la lunghezza massima del tratto di strada entro il quale il conducente può riconoscere eventuali ostacoli e avvenimenti, si verifica che siano soddisfatte le condizioni di seguito descritte:

- nel passaggio da tratti caratterizzati dalla V_{pmax} a curve a velocità inferiore, la differenza di velocità di progetto non deve superare i 10 km/h con $V_{pmax}=100 \text{ km/h}$ o 5 km/h con $V_{pmax}=80 \text{ km/h}$;
- fra due curve successive la differenza di velocità non deve essere superiore a 20 km/h ;
- in caso di decelerazioni la distanza di transizione deve risultare minore o uguale alla distanza di riconoscimento ($DT \leq D_r$);
- affinché la variazione di curvatura sia effettivamente percepita la distanza di transizione deve risultare minore o uguale alla distanza di visuale libera ($DT \leq DV$) nel tratto che precede una curva circolare.

Questo modello di comportamento dell'utenza è genericamente inteso in tutti i tratti di tracciato considerati a regime ovvero in quei tratti in cui il comportamento non è alterato da elementi non propri di un tracciato omogeneo in cui la marcia ideale viene ridotta o interrotta come nel caso delle interconnessioni di rete stradale. In questi casi le verifiche normative non sono imponibili.

5.2 TRATTI DI TRANSIZIONE

La presenza di intersezioni nella rete stradale determina in generale delle discontinuità di percorrenza per l'utente della strada. A causa di queste interruzioni di marcia di questi tronchi interessati dai nodi di rete, il diagramma delle velocità non sempre si trova in condizioni normali tale da essere considerato a "regime". Le zone di tracciato in cui il diagramma di velocità non si trova a regime possono essere localizzate eventualmente solo nei tratti di inizio e fine tronco, dove, per la presenza appunto dei nodi di rete, si interrompe la continuità di tracciato e la condotta di marcia. Entro tali zone, definite "zone di transizione", non sempre le verifiche previste dalla normativa, rigorosamente verificate nei tratti a regime, sono soddisfatte appieno senza peraltro compromettere la validità dell'intera verifica. Tale fatto risulta, infatti, convenzionalmente accettato in quanto, come detto prima, trovandosi in una zona di "transizione" le usuali verifiche normative non sono imponibili.

5.3 CRITERI DI VERIFICA DELLA VISIBILITÀ LUNGO IL TRACCIATO

L'esistenza di opportune visuali libere costituisce primaria ed inderogabile condizione di sicurezza della circolazione. La verifica della visibilità da garantire lungo il tracciato è stata effettuata utilizzando uno specifico software di progettazione stradale che ha permesso, partendo dagli elementi di tracciamento plano-altimetrico (rettifili, archi, curve di transizione, livellette, ecc..) di definire plano altimetricamente la piattaforma stradale. Il modello comprende, oltre alla piattaforma stradale opportunamente ruotata lungo i tratti in curva, anche gli elementi costruttivi laterali quali barriere di sicurezza, muri, scarpate e piazzole di sosta. Il modello è stato poi discretizzato in sezioni trasversali aventi passo di 25 m e in ognuna di esse è stata determinata la distanza di visuale libera nell'ipotesi che il punto di vista del conducente sia posto in asse alla corsia di marcia impegnata e con altezza a 1.10 m dal piano viabile e che l'ostacolo sia anch'esso collocato in mezzzeria alla medesima corsia e di altezza pari a 0.10 m.

Le distanze di visuale libera così determinate sono state successivamente confrontate con le minime richieste dal DM 5/11/01 per la distanza di arresto (funzione puntuale della velocità di progetto e della pendenza longitudinale). Nei casi che sono risultate insufficienti si è intervenuto sulle dimensioni trasversali della piattaforma (prevedendo degli allargamenti della banchina), oppure sulle dimensioni del raccordo altimetrico.

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 (%).

6.1.1.1 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

1.1.1.1.1 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.

- Indice di servizio iniziale: per tenere conto delle inevitabili imperfezioni costruttive, si ipotizza un valore inferiore al massimo assumibile, circa pari a $PSI_i=4,2$;
- 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 4.

Tabella 4 - 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

2.1.1.1 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 4 - *Valori di affidabilità e indice di servizio*. ($S_0=0.45$).

3.1.1.1 Portanza del sottofondo

La portanza del sottofondo viene espressa con il Modulo Resiliente M_R ; 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 M_{Ri} .

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 $CBR = 0.2 M_d \quad [MPa]$

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 5 - *Classifica di Casagrande*).

Tabella 5 - Classifica di Casagrande

tipo di terra	sigla	NOHE	Comportamento come fondazione	Comportamento come strato di base	Azione del gelo	Compressibilità ed 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 ghiaiose-sabbiose) CRF ghiaia o terreno ghiaioso	GV	Ghiaia e ghiaia sabbiosa ben graduata	eccellente	buono	nessuna o lieve	pressocche' nulla	eccellente	Rullo statico Rullo gommate trattore cingolato	20.000 - 22.500	60 - 80	280
	CP	Ghiaia e ghiaia sabbiosa poco graduata	da eccellente a buono	da scadente a discreto	nessuna o lieve	pressocche' nulla	eccellente	Rullo statico Rullo gommate trattore cingolato	19.000 - 21.000	35 - 60	260
	GU	Ghiaia e ghiaia sabbiosa uniforme	buono	scadente	nessuna o lieve	pressocche' nulla	eccellente	Rullo gommate trattore cingolato	18.500 - 20.000	25 - 60	280
	GK	Ghiaia limosa o ghiaia sabbia limosa	da eccellente a buono	da discreto a buono	da lieve a media	molto lieve	da discreto a scadente	Rullo gommate Rullo costip. a piede di montone	21.000 - 23.000	10 - 40	280
	GC	Ghiaia argillosa o ghiaia sabbia argillosa	buono	scadente	da lieve a media	lieve	da scadente a praticamente impermeabile	Rullo gommate Rullo costip. a piede di montone	20.000 - 22.500	20 - 40	280
	terre a grana grossa (terre ghiaiose-sabbiose) CRF sabbia o terreno sabbioso	SV	Sabbia o sabbia ghiaiosa ben graduata	buono	scadente	nessuna o lieve	pressocche' nulla	eccellente	Rullo gommate trattore cingolato	17.500 - 21.000	20 - 40
SP		Sabbia o sabbia ghiaiosa poco graduata	da discreto a buono	scadente o inadatto	nessuna o lieve	pressocche' nulla	eccellente	Rullo gommate trattore cingolato	17.000 - 19.000	15 - 25	60 - 80
SV		Sabbia o sabbia ghiaiosa uniforme	da discreto a buono	non adatto	nessuna o lieve	pressocche' nulla	eccellente	Rullo gommate trattore cingolato	16.000 - 18.000	10 - 20	60 - 80
SH		Sabbia limosa o sabbia limo-ghiaiosa	buono	scadente	da lieve a bassa	molto lieve	da discreta a scadente	Rullo gommate Rullo costip. a piede di montone	19.000 - 21.500	20 - 40	60 - 80
SC		Sabbia argillosa o sabbia argillosa-ghiaiosa	da discreto a buono	non adatto	da lieve a bassa	da lieve a media	da scadente a praticamente impermeabile	Rullo gommate Rullo costip. a piede di montone	17.000 - 21.000	10 - 20	60 - 80
terre a grana fine (terre limo-argillose) CRF "elevata compressibilità" 11 < 50 Bassa compressibilità 11 > 50		HL	Limo, sabbia limosa, limo ghiaioso	da discreto a scadente	non adatto	da media a molto bassa	da lieve a media	da discreta a scadente	Rullo gommate Rullo costip. a piede di montone	16.000 - 20.000	5 - 15
	CL	Argille sabbie argille sabbiose o ghiaiose	da discreto a scadente	non adatto	da media a bassa	media	praticamente impermeabile	Rullo gommate Rullo costip. a piede di montone	16.000 - 20.000	5 - 15	30 - 60
	OL	Limi organici o argille organiche sabbie	scadente	non adatto	da media a bassa	da media a bassa	scadente	Rullo gommate Rullo costip. a piede di montone	14.500 - 17.500	4 - 8	30 - 60
	HL	Argille argillose	scadente	non adatto	da media a molto bassa	bassa	da discreta a scadente	Rullo gommate Rullo costip. a piede di montone	13.000 - 16.000	4 - 8	30 - 60
	CH	Argille grasse	scadente o molto scadente	non adatto	media	bassa	praticamente impermeabile	Rullo gommate Rullo costip. a piede di montone	14.500 - 17.500	3 - 5	15 - 30
	OH	Argille organiche grasse	scadente o molto scadente	non adatto	media	bassa	praticamente impermeabile	Rullo gommate Rullo costip. a piede di montone	13.000 - 17.000	3 - 5	15 - 30
Torbe o altre terre organ. di fibr.	Pt	Torbe, humus ed altro	non adatto	non adatto	lieve	molto bassa	da discreta a scadente	non eseguibile il costipamento	—	—	—

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:

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

4.1.1.1 Indice strutturale SN

Nel metodo utilizzato, le caratteristiche strutturali della pavimentazione sono sintetizzate attraverso un coefficiente 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 (Appendice B).

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.

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

$$\log W_{8.2} = 8.229$$

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

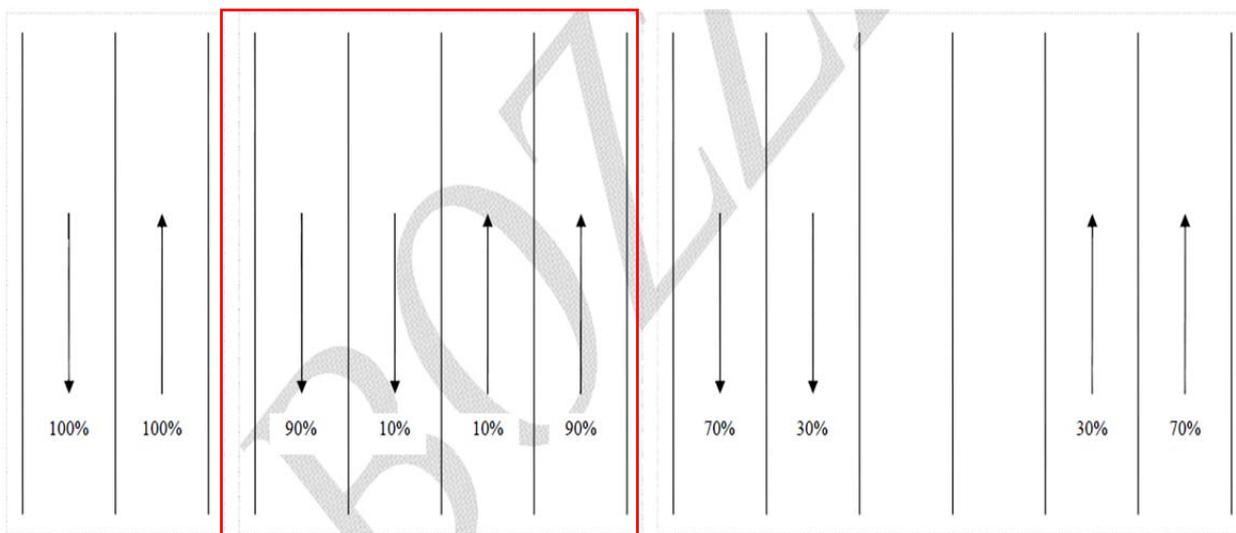
$$W_{8.2} = 10^{8.229} = 169.480.700$$

6.1.2 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 6 – 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		

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	-

Tabella 7 – Spettro di traffico dei veicoli commerciali per tipo di strada

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

Tabella 8 – 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%																	

TIPO DI VEICOLO	% VEICOLI		Peso assi (ton)															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
1	12,20%	5	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%

Tabella 9 – Tipici spettri di traffico dei veicoli commerciali per tipo di strada

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.

6.1.3 Verifica per pavimentazione con coefficienti a_i e m_i misto granulare

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	<	169.480.700
VERIFICATA		

6.1.4 Verifica per pavimentazione con coefficienti a_i e m_i misto cementato

La medesima verifica appena proposta con indice di struttura per misto granulare, si esegue con i coefficienti a_i e m_i per misto cementato. Esso viene fatto il via precauzionale in quanto non essendo a conoscenza della stratigrafia completa del terreno per tutto il percorso, nelle zone in cui è necessario sarà posto in opera il misto cementato o il misto granulare in base alle necessità.

Si riportano in maniera sintetica i dati utilizzati e la verifica finale:

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	0,180	0,98	2,08
Sottofondo	CBR	10			

$\sum SN_i$ [inch]	5,20
SNSG [inch]	1,23
SN [inch]	6,43

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

6.2 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.

6.2.1 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.

6.2.2 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.

7 ANALISI DI SICUREZZA

7.1 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.

7.2 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.

7.2.1 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.

Considerata l'alta percentuale di mezzi pesanti transitanti sul tratto in oggetto, si è considerata una quota limite del coefficiente di aderenza impegnabile longitudinalmente per la frenatura pari a quello autostradale.

Per il mantenimento di tale condizione, è necessario il mantenimento nel tempo delle qualità della piattaforma paragonabile alle strade di categoria A.

7.2.2 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 vedere 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.

7.2.3 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.

7.2.4 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.

In questa progettazione definitiva è stata predisposta idonea relazione atta a spiegare con maggior dettaglio i dispositivi centrali e marginali di sicurezza dell'attuale infrastruttura in progetto.

7.3 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.

8 ALLEGATO: TABULATO DI TRACCIAMENTO

Dati generali sul tracciato SS67	
Progressiva Iniziale (m): 0.0000	Lunghezza (m) : 5203.2310
Progressiva Finale (m): 5203.2310	
Strada Tipo :	
Intervallo di Velocità di progetto (Km/h): 660 <= Vp <= 0	

Rettifilo 1 ProgI 0.0000 - ProgF 18.6325			
Coordinate P.to Iniziale X:	49853.3218	Coordinate P.to Finale X:	49866.2362
Y:	46944.7489	Y:	46958.1798
Lunghezza :	18.6325	Azimut :	46
Vp (Km/h) = 102.7			
L >= Lmin = 160.8780 No			
L <= Lmax = 2259.8280 OK			
Rsucc = 400.0000 Rsucc > Rmin = 18.6300 OK			

Curva 2 Sinistra ProgI 18.6325 - ProgF 371.6465			
Coordinate vertice X:	49991.5932	Coordinate I punto Tg X:	49866.2362
		Coordinate I punto Tg Y:	46958.1798
Coordinate vertice Y:	47088.5518	Coordinate II punto Tg X:	49988.2118
		Coordinate II punto Tg Y:	47277.9700
Tangente Prim. 1:	165.2736	TT1 Tangente 1:	180.8624
Tangente Prim. 2:	165.2736	TT2 Tangente 2:	189.4484
Alfa Ang. al Vert.:	135	Numero Archi :	1

Clotoide in entrata ProgI 18.6325 - ProgF 59.4736			
Coordinate vertice X:	49883.6604	Coordinate I punto Tg X:	49866.2362
		Coordinate I punto Tg Y:	46958.1798
Coordinate vertice Y:	46976.3011	Coordinate II punto Tg X:	49893.8073
		Coordinate II punto Tg Y:	46988.2998
Raggio :	400.0000	Angolo :	4
Parametro N :	0.6000	Tangente lunga :	25.1393
Parametro A :	170.0000	Tangente corta :	15.7140
Scostamento :	0.1879	Sviluppo :	40.8411
Pti (%) :	-2.5	Ptf (%) :	7.0
Vp (Km/h) = 100.8			
A >= radq[(Vp^3-gVR(Ptf-Pti))/c] = 151.800 OK			
A >= radq(R/dimax*Bi* Pti-Ptf *100) = 145.900 OK			
A >= R/3 = 133.300 OK			
A <= R = 400.000 OK			
A/Au = 1.030		A/Au >= 2/3 = 0.670 OK	
A/Au = 1.030		A/Au <= 3/2 = 1.500 OK	

Arco ProgI 59.4736 - ProgF 317.1004			
Coordinate vertice X:	49979.9856	Coordinate I punto Tg X:	49893.8073
Coordinate vertice Y:	47090.2048	Coordinate I punto Tg Y:	46988.2998
Coordinate centro curva X:	49588.3803	Coordinate II punto Tg X:	49987.7098
Coordinate centro curva Y:	47246.5910	Coordinate II punto Tg Y:	47223.4402
Raggio :	400.0000	Angolo al vertice :	37
Tangente :	133.4591	Sviluppo :	257.6268
Saetta :	20.5625	Corda :	253.1970
Pt (%) :	7.0		
Vp (Km/h) = 96.5			
R >= Rmin = 175.376 OK			
Sv >= Smin = 67.030 OK			
Pt >= Ptmin = 7.000 OK			

Clotoide in uscita				ProgI 317.1004 - ProgF 371.6465				
Coordinate vertice	X:	49988.8379	Coordinate I punto Tg	X:	49987.7098	Coordinate I punto Tg	Y:	47223.4402
Coordinate vertice	Y:	47242.8988	Coordinate II punto Tg	X:	49988.2118	Coordinate II punto Tg	Y:	47277.9700
Raggio	:	400.0000	Angolo	:	4	Tangente lunga	:	35.0768
Parametro N	:	0.8000	Tangente corta	:	19.4912	Sviluppo	:	54.5461
Parametro A	:	165.0000	Ptf (%)	:	-2.5			
Scostamento	:	0.3279						
Pti (%)	:	7.0						
Vp (Km/h) = 102.2								
A >= radq[(Vp^3-gVR(Ptf-Pti))/c] = 158.000 OK								
A >= radq(R/dimax*Bi* Pti-Ptf *100) = 146.900 OK								
A >= R/3 = 133.300 OK								
A <= R = 400.000 OK								
			Ae/A	=	1.030	Ae/A >= 2/3	=	0.670 OK
			Ae/A	=	1.030	Ae/A <= 3/2	=	1.500 OK

Rettifilo 3				ProgI 371.6465 - ProgF 1866.9451				
Coordinate P.to Iniziale	X:	49988.2118	Coordinate P.to Finale	X:	49961.5232	Coordinate P.to Iniziale	Y:	47277.9700
	Y:	47277.9700		Y:	48773.0304			
Lunghezza	:	1495.2986	Azimut	:	91			
Vp (Km/h) = 120.0								
L >= Lmin = 250.0000 OK								
L <= Lmax = 2640.0000 OK								
			Rprec	=	400.0000	Rprec >= Rmin	=	400.0000 OK
			Rsucc	=	4500.0000	Rsucc >= Rmin	=	400.0000 OK

Curva 4 Destra				ProgI 1866.9451 - ProgF 2122.5691				
Coordinate vertice	X:	49958.8560	Coordinate I punto Tg	X:	49961.5232	Coordinate I punto Tg	Y:	48773.0304
Coordinate vertice	Y:	48922.4437	Coordinate II punto Tg	X:	49961.6823	Coordinate II punto Tg	Y:	49028.6306
Tangente Prim. 1:		100.0495	TT1 Tangente	1:	149.4371			
Tangente Prim. 2:		100.0495	TT2 Tangente	2:	106.2245			
Alfa Ang. al Vert.:		177	Numero Archi	:	1			

Clotoide in entrata				ProgI 1866.9451 - ProgF 2033.6118				
Coordinate vertice	X:	49959.7383	Coordinate I punto Tg	X:	49961.5232	Coordinate I punto Tg	Y:	48773.0304
Coordinate vertice	Y:	48873.0184	Coordinate II punto Tg	X:	49960.1945	Coordinate II punto Tg	Y:	48939.6872
Raggio	:	4500.0000	Angolo	:	1	Tangente lunga	:	100.0039
Parametro N	:	0.5000	Tangente corta	:	66.6704	Sviluppo	:	166.6667
Parametro A	:	1500.0000	Ptf (%)	:	2.5			
Scostamento	:	0.2743						
Pti (%)	:	-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) = 387.300 OK								
A >= R/3 = 1500.000 OK								
A <= R = 4500.000 OK								
			A/Au	=	1.000	A/Au >= 2/3	=	0.670 OK
			A/Au	=	1.000	A/Au <= 3/2	=	1.500 OK

Arco				ProgI 2033.6118 - ProgF 2122.5437				
Coordinate vertice	X:	49960.4987	Coordinate I punto Tg	X:	49960.1945	Coordinate I punto Tg	Y:	48939.6872
Coordinate vertice	Y:	48984.1536	Coordinate II punto Tg	X:	49961.6816	Coordinate II punto Tg	Y:	49028.6052
Coordinate centro curva	X:	54460.0892	Coordinate II punto Tg	Y:	49028.6052			
Coordinate centro curva	Y:	48908.8981						
Raggio	:	4500.0000	Angolo al vertice	:	1	Sviluppo	:	88.9319
Tangente	:	44.4674	Angolo al vertice	:	88.9319	Corda	:	88.9305
Saetta	:	0.2197						
Pt (%)	:	2.5						
Vp (Km/h) = 120.0								
R >= Rmin = 175.376 OK								
Sv >= Smin = 83.330 OK								
Pt >= Ptmin = 2.500 OK								

Clotoide in uscita				ProgI 2122.5437 - ProgF 2122.5691				
Coordinate vertice	X:	49961.6820	Coordinate I punto Tg	X:	49961.6816	Coordinate I punto Tg	Y:	49028.6052
Coordinate vertice	Y:	49028.6173	Coordinate II punto Tg	X:	49961.6823	Coordinate II punto Tg	Y:	49028.6306
Raggio	:	4500.0000	Angolo	:	0	Tangente lunga	:	0.0133
Parametro N	:	0.1000	Tangente corta	:	0.0121	Sviluppo	:	0.0254
Parametro A	:	1500.0000	Ptf (%)	:	-2.5			
Scostamento	:	0.0000						
Pti (%)	:	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) = 387.300 OK								
A >= R/3 = 1500.000 OK								
A <= R = 4500.000 OK								
			Ae/A	=	1.000	Ae/A >= 2/3	=	0.670 OK
			Ae/A	=	1.000	Ae/A <= 3/2	=	1.500 OK

Rettifilo 5				ProgI 2122.5691 - ProgF 4468.9923				
Coordinate P.to Iniziale	X:	49961.6823	Coordinate P.to Finale	X:	50024.1129	Coordinate P.to Iniziale	Y:	49028.6306
	Y:	49028.6306		Y:	51374.2231			
Lunghezza	:	2346.4232	Azimut	:	88			
Vp (Km/h) = 120.0								
L >= Lmin = 250.0000 OK								
L <= Lmax = 2640.0000 OK								
			Rprec	=	4500.0000	Rprec >= Rmin	=	400.0000 OK
			Rsucc	=	1000.0000	Rsucc >= Rmin	=	400.0000 OK

Curva 6 Destra				ProgI 4468.9923 - ProgF 4831.9245				
Coordinate vertice	X:	50028.9597	Coordinate I punto Tg	X:	50024.1129	Coordinate I punto Tg	Y:	51374.2231
Coordinate vertice	Y:	51556.3218	Coordinate II punto Tg	X:	50078.2408	Coordinate II punto Tg	Y:	51731.6923
Tangente Prim. 1:	:	124.3025	TT1 Tangente	1:	182.1632			
Tangente Prim. 2:	:	124.3025	TT2 Tangente	2:	182.1632			
Alfa Ang. al Vert.:	:	166	Numero Archi	:	1			

Clotoide in entrata				ProgI 4468.9923 - ProgF 4584.5881				
Coordinate vertice	X:	50026.1637	Coordinate I punto Tg	X:	50024.1129	Coordinate I punto Tg	Y:	51374.2231
Coordinate vertice	Y:	51451.2732	Coordinate II punto Tg	X:	50029.4133	Coordinate II punto Tg	Y:	51489.6802
Raggio	:	1000.0000	Angolo	:	3	Tangente lunga	:	77.0774
Parametro N	:	1.0000	Tangente corta	:	38.5442	Sviluppo	:	115.5958
Parametro A	:	339.9939	Ptf (%)	:	5.4			
Scostamento	:	0.5567						
Pti (%)	:	-2.5						
Vp (Km/h) = 120.0								
A >= radq[(Vp^3-gVR(Ptf-Pti))/c] = 163.300 OK								
A >= radq(R/dimax*Bi* Pti-Ptf *100) = 229.500 OK								
A >= R/3 = 333.300 OK								
A <= R = 1000.000 OK								
			A/Au	=	1.000	A/Au >= 2/3	=	0.670 OK
			A/Au	=	1.000	A/Au <= 3/2	=	1.500 OK

Arco				ProgI 4584.5881 - ProgF 4716.3287				
Coordinate vertice	X:	50034.9747	Coordinate I punto Tg	X:	50029.4133	Coordinate I punto Tg	Y:	51489.6802
Coordinate vertice	Y:	51555.4110	Coordinate II punto Tg	X:	50049.1223	Coordinate II punto Tg	Y:	51619.8418
Coordinate centro curva	X:	51025.8531	Coordinate II punto Tg	Y:	51619.8418			
Coordinate centro curva	Y:	51405.3726						
Raggio	:	1000.0000	Angolo al vertice	:	8	Sviluppo	:	131.7406
Tangente	:	65.9657	Corda	:	131.6453			
Saetta	:	2.1687						
Pt (%)	:	5.4						
Vp (Km/h) = 120.0								
R >= Rmin = 175.376 OK								
Sv >= Smin = 83.330 OK								
Pt >= Ptmin = 5.402 OK								

Clotoide in uscita				ProgI 4716.3287 - ProgF 4831.9245				
Coordinate vertice	X:	50057.3889	Coordinate I punto Tg	X:	50049.1223	Coordinate I punto Tg	Y:	51619.8418
Coordinate vertice	Y:	51657.4891	Coordinate II punto Tg	X:	50078.2408	Coordinate II punto Tg	Y:	51731.6923
Raggio	:	1000.0000	Angolo	:	3	Tangente lunga	:	77.0774
Parametro N	:	1.0000	Tangente corta	:	38.5442	Sviluppo	:	115.5958
Parametro A	:	339.9939	Pti (%)	:	5.4	Ptf (%)	:	-2.5
Scostamento	:	0.5567						
Vp (Km/h) = 120.0								
A >= radq[(Vp^3-gVR(Ptf-Pti))/c] = 163.300 OK								
A >= radq(R/dimax*Bi* Pti-Ptf *100) = 229.500 OK								
A >= R/3 = 333.300 OK								
A <= R = 1000.000 OK								
			Ae/A = 1.000		Ae/A >= 2/3 = 0.670 OK			
			Ae/A = 1.000		Ae/A <= 3/2 = 1.500 OK			

Rettifilo 7				ProgI 4831.9245 - ProgF 5203.2310				
Coordinate P.to Iniziale	X:	50078.2408	Coordinate P.to Finale	X:	50178.6913	Coordinate P.to Iniziale	Y:	51731.6923
	Y:	51731.6923		Y:	52089.1531			
Lunghezza	:	371.3065	Azimut	:	74			
Vp (Km/h) = 120.0								
L >= Lmin = 250.0000 OK								
L <= Lmax = 2640.0000 OK								
			Rprec = 1000.0000		Rprec >= Rmin = 400.0000 OK			