

**IDROVIA FERRARESE**

DRG 603/2020 ADEGUAMENTO IDROVIA FERRARESE AL TRAFFICO  
IDROVIARIO DI V CLASSE EUROPEA.  
COMPLETAMENTO LAVORI DELLA CONCA DI VALPAGLIARO A VALLE  
DELLA STESSA FINO ALLA PROGRESSIVA 2750 IN LOC FINAL DI  
RERO.COMUNI DI TRESIGNANA E DI FERRARA .  
2 LOTTO 1 STRALCIO/PARTE

**RUP:**

ING. DAVIDE PARMEGGIANI  
REGIONE EMILIA-ROMAGNA - DIREZIONE GENERALE CURA DEL TERRITORIO E DELL'AMBIENTE  
AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE E LA PROTEZIONE CIVILE  
SERVIZIO SICUREZZA TERRITORIALE E PROTEZIONE CIVILE  
FERRARA

**PROGETTAZIONE:**

RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:  
DOTT. ING. SIMONE VENTURINI

RESPONSABILE DELLA PROGETTAZIONE  
DOTT. ING. MARCO LORA



Via Carlo Cattaneo, 20 - 37121 VERONA (VR)  
Tel. +39 045 8053611 - Fax. +39 045 8011658  
E-Mail: [technical@technical.it](mailto:technical@technical.it)

**PROGETTO ESECUTIVO**

**TITOLO ELABORATO:**

**Relazioni tecniche e specialistiche  
RELAZIONE TECNICA STRADALE**

**ELABORATO N° :**

**II134P-RT-010**

		ELABORATO		CONTROLLATO		APPROVATO	
SIGLA		I. SORIO		I. SORIO		M. LORA	
REVISIONE	N.	DATA	DESCRIZIONE				
	0	Luglio 2021	EMISSIONE PER APPROVAZIONE				
	1	Settembre 2021	RECEPIMENTO OSSERVAZIONI VERIFICATORE				
	2						

**NOME FILE :**

II134P-RT-010\_1\_Relazione\_Stradale

**DATA: Settembre 2021**

**SCALA :**

**Regione Emilia Romagna  
Amministrazione Provinciale di Ferrara**

**DGR 603/2020. ADEGUAMENTO IDROVIA FERRARESE AL TRAFFICO IDROVIARIO DI V CLASSE EUROPEA. COMPLETAMENTO LAVORI DALLA CONCA DI VALPAGLIARO A VALLE DELLA STESSA FINO ALLA PROGRESSIVA 2750 IN LOC. FINAL DI RERO. 2 LOTTO 1 STRALCIO/PARTE**

**PROGETTO ESECUTIVO**

**Relazione tecnica stradale**

## SOMMARIO

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>4</b>
<b>2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>6</b>
<b>3. PROGETTO STRADALE VIABILITA' PRINCIPALE .....</b>	<b>7</b>
<b>3.1 Sezione tipo.....</b>	<b>8</b>
3.1.1. <i>Margini laterali .....</i>	<i>10</i>
<b>3.2 Geometria dell'asse stradale: andamento planimetrico.....</b>	<b>10</b>
3.2.1. <i>Verifica rettifili .....</i>	<i>11</i>
3.2.2. <i>Verifica curve circolari .....</i>	<i>12</i>
3.2.3. <i>Pendenze trasversali della piattaforma in funzione del raggio delle curve circolari e della velocità.....</i>	<i>13</i>
3.2.4. <i>Verifiche dimensionamento clotoidi .....</i>	<i>15</i>
3.2.5. <i>Distanza di visibilità per l'arresto .....</i>	<i>17</i>
<b>3.3 Geometria dell'asse stradale: andamento altimetrico.....</b>	<b>19</b>
<b>4. SICUREZZA STRADALE .....</b>	<b>21</b>
<b>4.1 Analisi dello stato attuale .....</b>	<b>21</b>
<b>4.2 Analisi dello stato di progetto .....</b>	<b>23</b>
<b>4.3 Conclusioni.....</b>	<b>24</b>
<b>5. PROGETTO STRADALE VIABILITA' PROVVISORIA.....</b>	<b>24</b>
<b>6. LA SOVRASTRUTTURA STRADALE .....</b>	<b>27</b>
<b>6.1 Analisi del traffico e dei carichi.....</b>	<b>27</b>
<b>6.2 Pavimentazione .....</b>	<b>29</b>
6.2.1. <i>Verifica sovrastruttura .....</i>	<i>31</i>
<b>7. BARRIERE DI SICUREZZA .....</b>	<b>33</b>
<b>7.1 Classificazione dei livelli di traffico per il progetto delle barriere .....</b>	<b>33</b>
<b>7.2 Definizione del tipo e della classe dei dispositivi di ritenuta .....</b>	<b>34</b>
<b>7.3 Criteri di installazione delle barriere di sicurezza.....</b>	<b>34</b>
7.3.1. <i>Requisiti prestazionali dei dispositivi di ritenuta da installare.....</i>	<i>37</i>

Data: Settembre 2021	Rev.: 1	Doc.: II134P-RT-010-1
----------------------	---------	-----------------------

<b>7.4</b>	<b>Transizioni.....</b>	<b>38</b>
<b>7.5</b>	<b>Elementi terminali .....</b>	<b>39</b>
<b>8.</b>	<b>SEGNALETICA .....</b>	<b>41</b>
<b>8.1</b>	<b>Segnaletica orizzontale .....</b>	<b>41</b>
<b>8.2</b>	<b>Segnaletica verticale .....</b>	<b>41</b>
<b>9.</b>	<b>FASI REALIZZATIVE .....</b>	<b>42</b>

## 1. PREMESSA

Il progetto del 2 Lotto (intero) è nato con l'obiettivo principale del recupero funzionale dell'Idrovia ferrarese nel tratto che va dalla conca di Valpagliaro al ponte Fiscaglia per renderla agibile ai natanti della Va Classe Europea puntando, per quanto possibile, anche alla riqualificazione del territorio, incrementando la vocazione fluviale dell'abitato di Tresigallo anche in termini di navigazione da diporto.

In sintesi, il progetto prevede i seguenti interventi:

- risagomatura del tratto idroviario compreso tra la conca di Valpagliaro e la sezione terminale della modifica della curva di Finale di Rero (corrispondente alla sezione n.56), assicurando un rettangolo di navigazione costante e garantire l'uniformità del senso unico esistente;
- realizzazione del nuovo tracciato di progetto con raggio di curvatura conforme al transito di Va classe europea a senso unico di marcia in corrispondenza della curva di Final di Rero e conservazione del tratto esistente come da prescrizione di VIA;
- demolizione del ponte esistente e costruzione del nuovo ponte di Final di Rero sull'area di sedime del precedente e collegamento alla viabilità ordinaria;
- riqualificazione ambientale della nuova isola fra le due curve, con formazione di rilevati ottenuti dal riutilizzo di parte delle terre di scavo e realizzazione della passerella ciclo-pedonale di collegamento all'abitato di Tresigallo;
- realizzazione dello scivolo di alaggio a monte del Ponte di Final di Rero finalizzato in particolare a mezzi di soccorso come da prescrizione di VIA;
- trasporto del materiale di scavo al tratto di Canale Navigabile compreso tra il Ponte Fiscaglia e la Curva di Ostellato per realizzare i rinforzi arginali in sx e dx idraulica.

Nella Figura 1 viene riportata una foto aerea del sito con l'indicazione degli interventi di progetto.



Figura 1 – Area con individuazione degli interventi

Data: Settembre 2021	Rev.: 1	Doc.: II134P-RT-010-1
----------------------	---------	-----------------------

La progettazione ha tenuto anche conto di una serie di fattori in termini di lavori già realizzati quali stralci funzionali e propedeutici all'opera principale e dello stato attuale dei luoghi in generale.

Pertanto, oltre a quanto indicato per l'adeguamento dell'Idrovia alla Va classe, si è prevista anche la demolizione di quanto realizzato per garantire la viabilità provvisoria su Via della Pace durante le fasi di costruzione del nuovo Ponte ed interruzione della viabilità sulla SP 15 ed il ripristino delle aeree.

Nella presente relazione tecnica vengono illustrati i criteri di dimensionamento della viabilità stradale.

Per le caratteristiche generali del progetto e per gli studi specialistici si rimanda agli elaborati grafici e descrittivi di ogni specialistica che fanno parte integrante del presente progetto.

## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Per la redazione del progetto stradale si è fatto riferimento alle normative di seguito indicate.

### *Geometria stradale*

- D.M. 05/11/2001 - Norme funzionali geometriche per la costruzione delle strade.
- D.M. 22/04/2004 - Modifica del decreto 5 novembre 2001, n. 6792, recante "Norme funzionali e geometri.
- D.M. 19/04/2006 - Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali.

### *Barriere di sicurezza*

- D.M. LL.PP. 18/2/1992 n. 223 - Regolamento recante istruzioni tecniche per la progettazione l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza.
- Circolare LL.PP. n. 2595 del 09/06/1995.
- D.M. LL.PP. 15/10/1996 (Aggiornamento del D.M.LL.PP. 18/02/1992 n. 223).
- Circolare n. 4622 del 15/10/1996.
- Circolare LL.PP. n. 2357 del 16/05/1996.
- Circolare n. 4622 del 15/10/1996.
- Circolare ANAS n. 748/1996 - Istruzioni tecniche sulla progettazione, omologazione ed impiego delle barriere di sicurezza stradale
- D.M. LL.PP. del 3/6/1998 (Aggiornamento del D.M.LL.PP. 18/2/92 n. 223)
- D.M. LL.PP. del 11/6/1999 (Aggiornamento del D.M.LL.PP. 18/2/92 n. 223)
- D.M. 21/06/2004 n. 2367 – Norme sulle barriere stradali – Istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali.
- D.M. 28/06/2011 - Disposizioni sull'uso e l'installazione dei dispositivi di ritenuta stradale.
- UNI EN 1317-1, "Barriere di sicurezza stradali: Terminologia e criteri generali per i metodi di prova";
- UNI EN 1317-2, "Barriere di sicurezza stradali. Classi di prestazione, criteri di accettazione delle prove d'urto e metodi di prova per le barriere di sicurezza";
- UNI EN 1317-3, "Barriere di sicurezza stradali: classi di prestazioni, criteri di accettabilità basati sulla prova di impatto e metodi di prova per attenuatori d'urto";
- UNI ENV 1317-4, "Barriere di sicurezza stradali: classi di prestazione, criteri di accettazione per la prova d'urto e metodi di prova per terminali e transizioni delle barriere di sicurezza".

### *Segnaletica*

- D.Lgs. 30/04/1992 n. 285 e succ. modifiche ed aggiornamenti, Nuovo Codice della Strada.
- D.P.R. 16/12/1992 n.495 - Regolamento di esecuzione e attuazione del Nuovo Codice della Strada.
- Direttiva n. 1156 del 28 febbraio 1997 "Caratteristiche della segnaletica da utilizzare per la numerazione dei cavalcavia sulle autostrade e sulle strade statali di rilevanza internazionale".

### *Pavimentazioni*

- CNR - "Catalogo delle pavimentazioni stradali" Boll. Uff. A. XXIX - N. 178 — 15/09/1995.

### 3. PROGETTO STRADALE VIABILITA' PRINCIPALE

La prima parte della presente relazione ha per oggetto lo studio e la verifica dell'andamento planimetrico ed altimetrico del tracciato di progetto.

Nella seconda parte vengono definite le caratteristiche, secondo normativa vigente, delle barriere di sicurezza da inserire lungo lo sviluppo del tracciato.

Per la definizione delle caratteristiche geometriche dell'asse stradale in oggetto sono stati stabiliti i principali elementi che riguardano:

- Dimensioni e composizione delle piattaforme stradali.
- Pendenze longitudinali, trasversali e composte delle rampe, delle aree pavimentate interessate dal transito dei veicoli e dagli spazi marginali.
- I raccordi altimetrici.
- Le caratteristiche geometriche degli elementi componenti, e specificatamente:
  1. I raggi delle curve circolari (in relazione alle velocità e alle pendenze trasversali della piattaforma)
  2. I parametri caratteristici degli elementi planimetrici a curvatura variabile
  3. Le rotazioni delle sagome stradali e l'andamento dei cigli

Si evidenzia comunque che l'intervento riguarda l'adeguamento di una viabilità esistente e pertanto ci si deve riferire al DM 22/04/2004 "Modifica del decreto 5 novembre 2001, n. 6792, recante «Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade»" che meglio precisa l'ambito di applicazione del DM 05/11/2001, e che nel dettaglio riporta quanto segue:

- *Art. 1: "L'art. 2 del decreto ministeriale 5 novembre 2001, n. 6792, è sostituito come segue: «Le presenti norme si applicano per la costruzione di nuovi tronchi stradali, salva la deroga di cui al comma 2 dell'art. 13 del decreto legislativo 30 aprile 1992, n. 285 e successive modifiche ed integrazioni, e sono di riferimento per l'adeguamento delle strade esistenti, in attesa dell'emanazione per esse di una specifica normativa.»;*
- *Art. 3: "Entro sei mesi dalla pubblicazione del presente decreto, la Direzione generale per le strade ed autostrade predispone nuove norme per gli interventi di adeguamento delle strade esistenti, finalizzate all'innalzamento dei livelli di sicurezza ed al miglioramento funzionale della circolazione, nel rispetto dei vincoli ambientali, paesaggistici, archeologici, delle condizioni locali, nonché delle esigenze della continuità di esercizio. Entro lo stesso termine la Direzione generale per le strade ed autostrade predispone apposite linee guida contenenti criteri e modalità per la presentazione delle richieste di deroga alle norme di cui al punto 1 del presente articolo."*
- *Art. 4: "Fino all'emanazione delle suddette norme, per il conseguimento delle finalità di cui al precedente articolo, i progetti di adeguamento delle strade esistenti devono contenere una specifica relazione dalla quale risultino analizzati gli aspetti connessi*



*con le esigenze di sicurezza, attraverso la dimostrazione che l'intervento, nel suo complesso, è in grado di produrre, oltre che un miglioramento funzionale della circolazione, anche un innalzamento del livello di sicurezza, fermo restando la necessità di garantire la continuità di esercizio della infrastruttura.*

Pertanto, gli elementi geometrici della viabilità di progetto sono stati definiti tenendo conto dei vincoli territoriali presenti ma comunque “*tendendo*” a quanto previsto dal D.M. 05/11/2001.

Il tracciato stradale ha uno sviluppo complessivo di circa 517 m e ha origine dalla rotatoria di Final di Rero all'interno dell'abitato e termina all'intersezione con la viabilità di Medelana.

Da un punto vista dell'andamento planimetrico, in uscita dalla rotatoria è prevista una curva di ampio raggio ( $R= 1.150$  m) per poi proseguire in rettilineo fino alla fine del nuovo ponte; per il tratto iniziale da progr. 0+000 a progr. 0+037,60 non è previsto l'allargamento della viabilità esistente ma solo il rifacimento della pavimentazione. Rispetto alla situazione esistente, il rettilineo è stato leggermente ruotato per garantire l'inserimento dell'elemento a curvatura variabile (clotoide) tra il rettilineo stesso e la successiva curva di raggio  $R= 118$  m che consente di sovrapporsi alla viabilità esistente. Dopo tale curva è stata inserita un'altra curva di ampio raggio ( $R= 5.250$  m), raccordate da una clotoide, e infine un rettilineo fino all'intersezione con la strada per Medellana.

Da un punto di vista altimetrico, la livelletta è stata imposta in modo tale da garantire un franco superiore a 4 m in corrispondenza del passaggio sopra la via di Volano; la pendenza longitudinale massima è pari a 3,374% per consentire il raccordo con la rotatoria esistente, mentre i raccordi concavi e convessi minimi sono pari rispettivamente a 3.000 m e 1.650 m.

Tali valori, come meglio evidenziato al paragrafo 3.3, garantiscono il pieno rispetto dei valori minimi previsti della normativa vigente per la tipologia di sezione tipo adottata.

La tipologia di strada richiesta per la realizzazione di questo intervento è una strada extraurbana secondaria tipo C2 secondo il DM 05/11/2001, avente una velocità di progetto compresa tra 60 km/h e 100 km/h.

### **3.1 Sezione tipo**

Come già indicato al paragrafo precedente, la sezione stradale utilizzata per l'infrastruttura in esame è assimilabile ad una sezione tipo C2 - Strada extraurbana secondaria, come prevista dal DM 05/11/2001 — Norme sulle caratteristiche geometriche delle strade, la cui piattaforma risulta costituita da una carreggiata a due corsie una per senso di marcia dei veicoli di larghezza 3,50 m e da due banchine di larghezza pari a 1,25 m, per una dimensione complessiva della sezione stradale di 9.50 m (Figura 2).

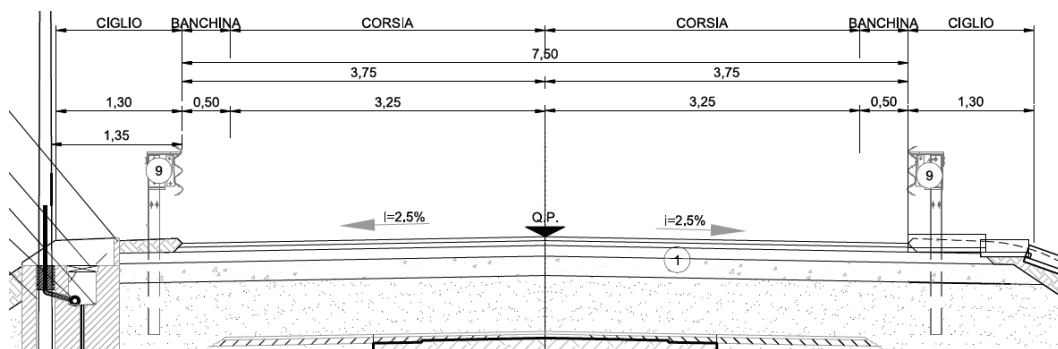


Figura 2 – Sezione tipo C2 Strada extraurbana secondaria (DM 05/11/2001)

Per questa tipologia stradale la normativa vigente prevede le prescrizioni riportate nella seguente Tabella 1.

Velocità massima di progetto	Vp max	100 Km/h
Velocità minima di progetto	VP min	60 Km/h
Pendenza longitudinale massima	i long	7,00%
Pendenza trasversale massima	i trasv	7,00%
Coefficiente di aderenza limite trasversale	f max	0,17
Raggio minimo	R min	118,00 m

Tabella 1 - Prescrizioni normative strada tipo C2

La rotazione della piattaforma avviene intorno all'asse di mezzzeria.

Come riportato in tabella per tale tipologia di strada è prevista una velocità compresa tra 60 km/h e 100 km/h.

Per la velocità di progetto da considerare per le verifiche, si deve tener presente che tale intervento è da considerarsi come un adeguamento di una viabilità esistente ai sensi del D.M. 22/04/2004.

L'intervento, infatti, si adagia sul sedime della strada esistente ai fini della realizzazione di un nuovo manufatto sul Po di Volano; pertanto, l'andamento planoaltimetrico risulta obbligato dall'osservanza del sedime attuale. Questa importante considerazione comporta che la curva di accesso al nuovo manufatto risulta di raggio prefissato: dalla geometria planimetrica si evince che tale raggio è pari a 118 m che risulta compatibile con una velocità di progetto pari al limite inferiore dell'intervallo previsto per una strada di categoria C2 (60-100 km/h). Trattandosi quindi di un intervento su strada esistente e di lunghezza limitata, con vincoli geometrici prefissati e con una rotatoria a fine intervento, è apparso conveniente fissare tale velocità lungo l'intero percorso. Per questi motivi è stato inserito un limite di velocità amministrativa pari a 50 km/h per tutto lo sviluppo in modo da indirizzare il comportamento dell'utente all'adozione di una velocità conforme alla curva e all'approccio alla rotatoria.

### 3.1.1. Margini laterali

La sistemazione del margine laterale si presenta nei due casi di rilevato e opera d'arte.

Nel caso di rilevati sono previste scarpate con pendenza massima 2/3 rispettivamente realizzata con un arginello inerbato.

Per il ricoprimento e l'inerbimento delle scarpate è prevista la presenza di uno strato di terra vegetale con spessore di 30 cm. La dimensione dell'arginello utilizzato è pari a 1,30 m e in tale spazio, ove previste, verranno infisse le barriere metalliche bordo rilevato.

Nel tratto in prossimità della spalla sud del viadotto è prevista una sezione tra muri di contenimento per ridurre l'occupazione laterale, con il cordolo del muro avente larghezza pari a 0,55 m tale da permettere un corretto inserimento delle barriere di sicurezza bordo ponte; per lo smaltimento acque lungo il tratto tra muri è stato previsto ogni 20 m un punto di raccolta (griglia poggiante su pozzetto) e pluviale che porta le acque all'esterno del muro.

Nel tratto del ponte sono state previsti due marciapiedi di larghezza variabile da 1,30 m a 2,24 m; tale variazione del marciapiede è stata determinata per aumentare la dimensione delle banchine laterali al fine di garantire la visuale libera per l'arresto e l'iscrizione in curva del veicolo, comunque sempre garantendo la corretta deformazione delle barriere di sicurezza sulla base della loro larghezza di funzionamento e del valore dell'intrusione del veicolo.

### 3.2 Geometria dell'asse stradale: andamento planimetrico

Come già precedentemente descritto il tracciato planimetrico ha uno sviluppo complessivo di circa 517,40 m e risulta composto, partendo dalla rotatoria esistente di Final di Rero, dai seguenti elementi:

- Curva circolare di raggio  $R= 1.150$  m e sviluppo  $L= 94,60$  m;
- Rettifilo con sviluppo  $L= 93,69$  m;
- Elemento di transizione (clotoide) con parametro  $A= 61,20$  e sviluppo  $L=31,74$  m;
- Curva circolare di raggio  $R= 118,00$  m e sviluppo  $L=103,80$  m;
- Elemento di transizione (clotoide) con parametro  $A= 61,20$  e sviluppo  $L=31,74$  m;
- Curva circolare di raggio  $R= 5.250$  m e sviluppo  $L= 62,60$  m;
- Rettifilo con sviluppo  $L= 99,24$  m.

Per la curva di raggio minore ( $R=118$  m) come prescritto dalla normativa, sono stati inserite gli elementi a curvatura variabile (clotoidi) lungo i quali avviene la variazione della pendenza trasversale, e, ove necessario, della larghezza della piattaforma per gli allargamenti della visibilità. Per ottenere i corretti azimut di allineamento con il sedime esistente si è fatto ricorso a curve di grande raggio senza clotoidi per quanto illustrato al successivo capitolo 3.2.2.

L'arco di cerchio con raggio pari a 118m è percorribile alla velocità minima di progetto, pari a 60 km/h per la sezione tipo C2, con pendenza trasversale del 7%, come indicato nell'abaco di figura Fig. 5.2.4.a del D.M. 05/11/2001 e di seguito riportato (per maggiori dettagli vedere paragrafo 3.2.3).

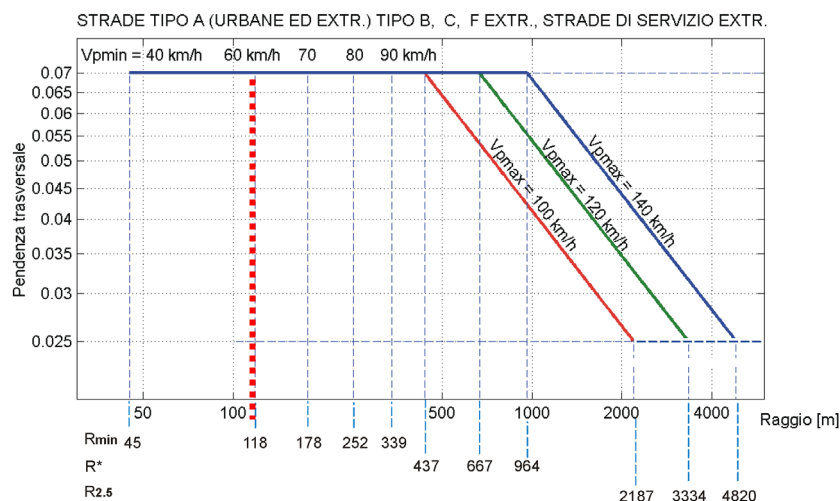


Figura 3 – Abaco di correlazione pendenza trasversale/raggi (Fig. 5.2.4a D.M. 05/11/2001)

Nel seguito sono elencate le principali prescrizioni imposte della normativa vigente circa l'estensione degli elementi geometrici sopra descritti.

Va ricordato che vista tali prescrizioni si riferiscono al DM 05/11/2001; quindi per la progettazione di nuove infrastrutture stradali, mentre nel caso in oggetto ci troviamo di fronte ad un adeguamento stradale. Valgono pertanto le considerazioni del D.M. 22/4/2004 che per le strade esistenti indicano che il D.M. 5/11/2001 risulta “di riferimento per l'adeguamento delle strade esistenti”. Per le verifiche si è quindi fatto riferimento ai criteri del D.M. 2001 giustificando le eventuali deviazioni dallo stesso come di seguito indicato.

### 3.2.1. Verifica rettili

Secondo il D.M. 05/11/2001, un rettilo per poter essere correttamente percepito dall'utente deve avere uno sviluppo non inferiore e non superiore ai valori riportati in Tabella 2.

Velocità (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110
L min (m)	30	40	50	65	90	115	150	190
L max (m)	880	1100	1320	1540	1760	1980	2200	2420

Tabella 2 – Lunghezze minime e massime dei rettili sulla base della velocità adottata

Data: Settembre 2021	Rev.: 1	Doc.: II134P-RT-010-1
----------------------	---------	-----------------------

Dalla Tabella 3 sotto riportata, si può notare come i rettifili adottati nel tracciamento risultano verificati per la velocità di progetto di 60 km/h, adottata per l'intero sviluppo del percorso per quanto detto in precedenza.

Elemento	Progr. iniziale (m)	Progr. finale (m)	Vmax (km/h)	Lunghezza (m)	L max (m)	L min (m)
Rettifilo n. 1	0+094,59	0+188,28	60	93,69	1320	50
Rettifilo n. 2	0+418,14	0+517,38	60	99,24	1320	50

Tabella 3 – Verifica lunghezza rettifili di progetto

### 3.2.2. Verifica 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 (cfr. par. 5.4 del D.M. 05/11/2001), che nel caso in esame è pari a 60 km/h come riportato nella Figura 3.

Lungo il tracciato oltre alla curva di  $R = 118$  m, sono state previste altre due curve circolari ad ampio raggio (curva 1 ad inizio intervento  $R = 1.150$  m e curva 3 a fine intervento  $R = 5.250$  m) che alla velocità di progetto  $V = 60$  km/h vengono percepite dall'utente come rettifili non modificando, come descritto nei paragrafi successivi, la pendenza trasversale lungo il tratto in curva, che conserva quindi la pendenza trasversale tipica dei rettifili pari a 2,5%.

Seguendo il D.M. 2001 per le curve circolari, oltre all'osservanza della lunghezza minima, all'adozione della pendenza trasversale corretta, andrebbe verificata la relazione seguente; tra un rettifilo di lunghezza  $L_r$  ed il raggio collegato al rettifilo stesso, anche con l'interposizione di una curva a raggio variabile, deve essere rispettata la relazione:

- $R > L_R$  per  $L_R < 300$  m
- $R \geq 400$  m per  $L_R \geq 300$  m

Nel caso specifico se si adotta il principio di assumere come lunghezza del rettifilo il solo tratto di intervento la verifica del valore del raggio ( $R = 118$  m) sarebbe positiva come indicato nella successiva Tabella 4.

Elemento	Vmax (km/h)	Raggio (m)	Sviluppo (m)	Pt (%)	$R \geq R_{min}$ (m)	$S_v \geq S_{min}$ (m)	$P_t \geq P_{tmin}$ (%)	$L_r$ (m)	$R > L_r$	Verifica
Arco	60	118	103,80	7	118	41,65	7	93,69	Si	Ok

Tabella 4 – Verifica curva circolare di progetto

dove:

$P_t$  = pendenza trasversale

$P_t \text{ min}$  = pendenza trasversale massima consentita da normativa

$S \text{ min}$  = sviluppo minimo della curva circolare

Data: Settembre 2021	Rev.: 1	Doc.: II134P-RT-010-1
----------------------	---------	-----------------------

Tuttavia, poiché la curva R=118 m si inserisce su un tracciato esistente ed in particolare con un rettilineo che, contando il tratto sul quale non si interviene, risulta di lunghezza superiore a circa 500 m, il raggio citato dovrebbe essere maggiore della lunghezza del rettilineo stesso e quindi molto più ampio rispetto al valore di 118 m. Tale verifica porterebbe ad avere un raggio non compatibile con il rispetto del sedime esistente, trattandosi non di un adeguamento di strada esistente, e del piano espropriativo già approvato e attuato contestualmente al cantiere progressivo.

### 3.2.3. Pendenze trasversali della piattaforma in funzione del raggio delle curve circolari e della velocità

In curva la carreggiata è inclinata verso l'interno. La pendenza trasversale è la stessa su tutta la lunghezza dell'arco di cerchio.

La pendenza massima per le strade tipo C extraurbane vale 7% (q=0,07).

Per la determinazione della pendenza in funzione del raggio è indispensabile stabilire il legame tra la velocità di progetto  $V_p$ , la pendenza trasversale in curva  $i_c$  e la quota parte del coefficiente di aderenza impegnato trasversalmente  $f_t$ . Dallo studio dell'equilibrio di un veicolo transitante su una curva circolare si ottiene:

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

dove:

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

R = raggio della curva[m]

q =  $\frac{i_c}{100}$

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

Per quanto riguarda la quota limite del coefficiente di aderenza impegnabile trasversalmente  $f_{t \max}$ , valgono i valori riportati nella seguente Tabella 5. 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 extra urbane, e relative strade di servizio	-	0,21	0,17	0,13	0,11	0,10	0,09

Tabella 5 – Valore del coefficiente di aderenza  $f_t$  in base alla velocità di progetto

Data: Settembre 2021	Rev.: 1	Doc.: II134P-RT-010-1
----------------------	---------	-----------------------

Come si evince dalla tabella, per la velocità di progetto di 60 km/h, il coefficiente di aderenza impegnabile trasversalmente  $f_t \max$  è pari a 0,17.

Per una strada di assegnato intervallo di velocità di progetto, il raggio minimo  $R_{\min}$  è quello calcolato con l'espressione dianzi citata e con la velocità al limite inferiore dell'intervallo di progetto, per una pendenza trasversale pari alla  $q_{\max}$ , nonché per un impegno di aderenza trasversale pari a  $f_t \max$ . Vedasi i valori nella seguente tabella seguente (cfr. D.M. 05/11/2001).

TIPI SECONDO IL CODICE	AMBITO TERRITORIALE	DENOMINAZIONE	$V_p \min$ [km/h]	$q_{\max}$	$f_t \max$	Raggio minimo [m]
AUTOSTRADA A	EXTRAURBANO	STRADA PRINCIPALE	90	0,07	0,118	339
		STRADA DI SERVIZIO (EVENTUALE)	40	0,07	0,210	45
	URBANO	STRADA PRINCIPALE	80	0,07	0,130	252
		STRADA DI SERVIZIO (EVENTUALE)	40	0,035	0,210	51
EXTRAURBANA PRINCIPALE B	EXTRAURBANO	STRADA PRINCIPALE	70	0,07	0,147	178
		STRADA DI SERVIZIO (EVENTUALE)	40	0,07	0,210	45
EXTRAURBANA SECONDARIA C	EXTRAURBANO		60	0,07	0,170	118
URBANA DI SCORRIMENTO D	URBANO	STRADA PRINCIPALE	50	0,05	0,205	77
		STRADA DI SERVIZIO (EVENTUALE)	25	0,035	0,220	19
URBANA DI QUARTIERE E	URBANO		40	0,035	0,210	51
LOCALE F	EXTRAURBANO		40	0,07	0,210	45
	URBANO		25	0,035	0,220	19

Tabella 6 – Pendenze trasversali massime e raggi minimi per  $V_p \min$

Pertanto, nel caso in esame, la pendenza trasversale da adottare per la curva circolare di raggio  $R=118$  m è pari al 7%.

Come detto in precedenza, oltre a tale curva, nel progetto sono state previste due ulteriori curve circolari di ampio raggio rispettivamente  $R= 1.150$  m e  $R= 5.250$  m.

Al riguardo la normativa vigente, per tipologia di strada e tenendo conto della velocità di progetto massima da adottare per singola tipologia, fornisce i valori di raggio per i quali è possibile conservare la pendenza trasversale del 2,5% prevista in rettilineo.

Per valori del raggio non inferiori a quelli  $R'$  indicati nella successiva Tabella 7, è pertanto possibile conservare la sagoma in contropendenza al valore - 2,5 %.

STRADA TIPO	A	B	C	D	E
			F extraurbane		F urbane
$R'$ [m]	10250	7500	5250	2000	1150

Tabella 7 – Valori dei raggi minimi  $R'$  per tipologia di strada per i quali mantenere la pendenza trasv. Di 2,5%

I valori di raggio  $R'$  indicati in tabella si riferiscono al caso in cui la velocità di progetto è il valore massimo dell'intervallo per tipologia di strada.

Nel caso in esame, la velocità di progetto è stata assunta pari a 60 km/h (valore minimo dell'intervallo di velocità per la tipologia di strada C2) e pertanto il valore R' da prendere a riferimento per conservare la sagoma in contropendenza al valore - 2,5 % deve essere quello relativo a tale velocità che è pari a R= 1.150 m. Alla luce di quanto sopra riportato per le due curve ad ampio raggio R= 1.150 m e R= 5.250 m è stata conservata la pendenza trasversale del 2,5 % prevista in rettilifo.

### 3.2.4. Verifiche dimensionamento clotoidi

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

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

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

dove:

r = raggio di curvatura nel punto P generico

s = ascissa curvilinea nel punto P generico

A = parametro di scala

Graficamente i simboli necessari alla loro definizione sono i seguenti:

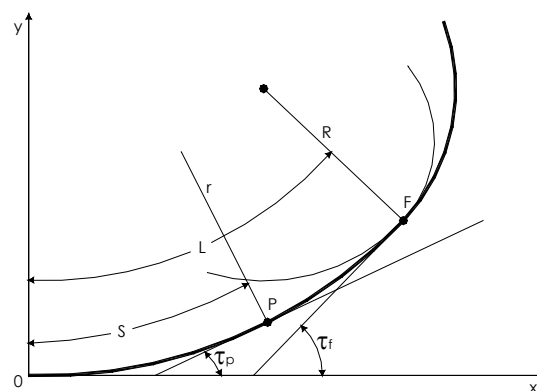


Figura 4 – Elementi costruttivi delle clotoidi

Le motivazioni legate all'inserimento lungo il tracciato di tali elementi a curvatura costante sono quelle di garantire:

- una variazione di accelerazione centrifuga non compensata (contraccollo) contenuta entro valori accettabili;



Data: Settembre 2021	Rev.: 1	Doc.: II134P-RT-010-1
----------------------	---------	-----------------------

- una limitazione della pendenza (o sovrappendenza) longitudinale delle linee di estremità della piattaforma;
- la percezione ottica corretta dell'andamento del tracciato.

Da quanto sopra si evince che per valori del raggio di curvatura pari a 10.250 m non sussistono più le condizioni necessarie all'inserimento delle curve a raggio variabile, in quanto nessuna variazione della pendenza trasversale risulta necessaria, mantenendo la sagoma stradale le stesse geometrie di quelle proprie del rettilineo e l'accelerazione centrifuga non compensata assume valori estremamente bassi.

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

- criterio della limitazione del contraccolpo, che con le opportune semplificazioni e assunzioni assume la forma pratica pari a  $A \geq 0,021 \times V^2$ ;
- criterio della limitazione della sovrappendenza longitudinale delle linee di estremità della carreggiata che assume le formule:  
nel caso in cui il raggio iniziale sia di valore infinito (rettilineo o punto di flesso), il parametro deve verificare la seguente disuguaglianza:

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

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

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

- criterio ottico:  $A > R/3$  ( $R_i/3$  in caso di continuità)  
Inoltre, per garantire la percezione dell'arco di cerchio alla fine della clotoide, deve essere:  
 $A < R$

Nella Tabella 8 sono riportate le clotoidi presenti con i relativi valori (sviluppo, parametro A, ecc.) e le verifiche con i valori minimi per il rispetto dei criteri sopra richiamati.

Elemento	Sv (m)	Par. A	Pti (%)	Ptf (%)	A ottico	Verifica	A contraccolpo	Verifica	A sovrappendenza	Verifica	A ≤ R	Veri-
Clotoide 1	31,74	61,2	-2,5	7	39,3	Si	75,6	No	61,1	Si	118	Si
Clotoide 2	31,74	61,2	7	-2,5	39,3	Si	75,6	No	61,1	Si	118	Si

Tabella 8 – Verifiche delle clotoidi

Come si evince dai dati sopra riportati, le clotoidi inserite soddisfanno tutti i requisiti (criterio ottico e criterio della sovrappendenza longitudinale) a meno del criterio del contraccolpo.

Il non rispetto di tale criterio è giustificato dal fatto che, con i vincoli al contorno, non è stato possibile inserire degli elementi a curvatura variabile tali da soddisfare pienamente i valori richiesti da normativa per tali elementi, senza modificare in maniera importante l'ingombro della nuova viabilità che, si ricorda ancora una volta, è un adeguamento di una strada esistente e quindi è possibile non rispettare completamente i vincoli del D.M. 05/11/2001.

### 3.2.5. Distanza di visibilità per l'arresto

La relazione di calcolo della distanza di visibilità per l'arresto si calcola con la formula

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

dove:

$D_1$  = spazio percorso nel tempo  $\tau$

$D_2$  = spazio di frenatura

$V_0$  = velocità del veicolo all'inizio della frenatura, pari alla velocità di progetto desunta puntualmente dal diagramma delle velocità [km/h]

$V_1$  = velocità finale del veicolo, in cui  $V_1 = 0$  in caso di arresto [km/h]

$i$  = pendenza longitudinale del tracciato [ % ]

$\tau$  = tempo complessivo di reazione (percezione, riflessione, reazione e attuazione) [s]

$g$  = accelerazione di gravità [m/s<sup>2</sup>]

$Ra$  = resistenza aerodinamica [ N ]

$m$  = massa del veicolo [kg]

$f_l$  = quota limite del coefficiente di aderenza impegnabile longitudinalmente per la frenatura

$r_0$  = resistenza unitaria al rotolamento, trascurabile [N/kg]

La resistenza aerodinamica  $Ra$  si valuta con la seguente espressione:

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

dove:

$C_x$  = coefficiente aerodinamico

$S$  = superficie resistente [ m<sup>2</sup> ]

$\rho$  = massa volumica dell'aria in condizioni standard [kg/m<sup>3</sup>]

Per  $f_l$  con riferimento a tutti gli altri tipi di strade non autostradali, la normativa dà i seguenti valori (compatibili anche con superficie stradale leggermente bagnata con spessore del velo idrico di 0,5 mm):

VELOCITA' km/h	25	40	60	80	100	120	140
$f_l$ Altre strade	0,45	0,43	0,35	0,30	0,25	0,21	-

Tabella 9 – Valori del coefficiente di aderenza impegnabile longitudinalmente per la frenatura

Il diagramma di seguito (Figura 5), riporta le distanze di visibilità per l'arresto calcolate come sopra, in funzione di una pendenza longitudinale costante. In caso di variabilità di tale pendenza (raccordi verticali), si può assumere per essa il valore medio.

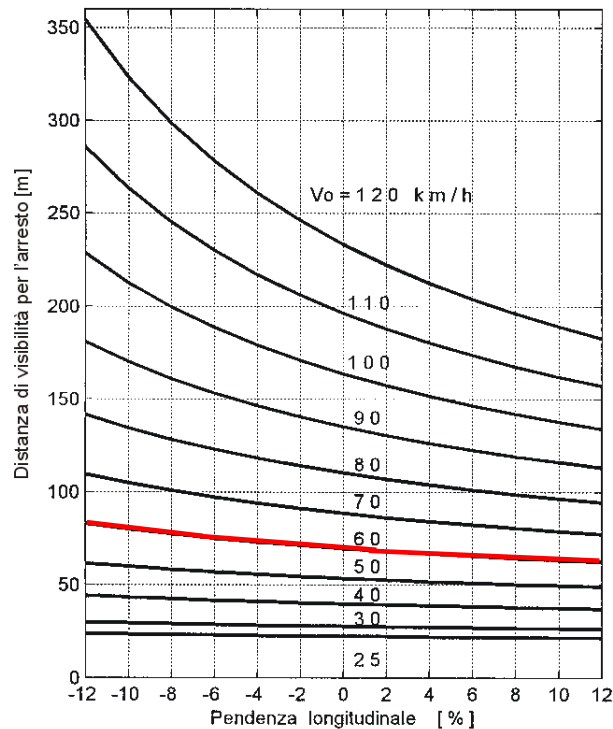


Figura 5 – Diagramma delle distanze di visibilità per l'arresto in funzione della velocità di progetto

Il diagramma è calcolato per il caso di arresto di una autovettura le cui caratteristiche di resistenza aerodinamica (con riferimento ad una autovettura media) sono precisate di seguito:

$C_x$ = coefficiente aerodinamico	= 0,35
$S$ = superficie resistente	= 2,1 [m <sup>2</sup> ]
$m$ = massa del veicolo	= 1250 [kg]
$\rho$ = massa volumica dell'aria in condizioni standard	= 1,15 [kg/m <sup>3</sup> ]

Inoltre, nel diagramma è evidenziata la velocità di 60 km/h che rappresenta il valore di percorrenza della curva da 118 m presente lungo il tracciato di progetto.

Per tale curva, sulla base del diagramma sopra riportato, il valore calcolato della distanza di visibilità per l'arresto è pari a  $D = 74$ m.

Nell'elaborato II134P-VIA-019, è riportato il diagramma delle visibilità di progetto da cui si evince che per garantire la distanza di visibilità per l'arresto sopra riportata, è necessario prevedere un allargamento della sede stradale di 2,65 m lato interno, che deve essere libero da qualsiasi ostacolo.

Inoltre, sempre per la curva di raggio  $R = 118$  m, è stata condotta anche la verifica di iscrizione in curva del veicolo (riferimento paragrafo 5.2.7 del D.M. 05/11/2001).

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

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

dove:

$$K = 45$$

$R$  = raggio esterno (in m) della corsia;

per  $R > 40$  m si può assumere, nel caso di strade ad unica carreggiata a due corsie, il valore del raggio uguale a quello dell'asse della carreggiata.

Pertanto, applicando la formula sopra riportata per la curva di raggio  $R = 118$  m, il valore  $E$  che ne deriva è pari a 0,38 m.

In conseguenza di ciò, oltre all'allargamento per garantire la visibilità come sopra definito, è stato previsto un ulteriore allargamento della sede stradale di 0,40 m su ambo i lati della carreggiata l'iscrizione in curva del veicolo.

### 3.3 Geometria dell'asse stradale: andamento altimetrico

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

Per una strada tipo C - strada extraurbana, il D.M. 05/11/2011 indica che la pendenza massima adottabile risulta pari al valore 7%.

Il valore massimo della livelletta di progetto è pari a 3,37% per il tratto di viabilità lungo 30,34 in uscita/entrata dalla rotatoria esistente di Final di Rero, quindi inferiore al valore limite della normativa.

Per i raccordi verticali si distinguono raccordi concavi e convessi, che vanno dimensionati con riferimento alle distanze di visibilità per l'arresto, già discusse in precedenza. I raccordi sono eseguiti con archi di parabola quadratica ad asse verticale, il cui sviluppo viene calcolato con l'espressione

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

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

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

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

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

- se invece  $D > L$

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

Si pone da norma  $h_1 = 1,10$  m. In caso di visibilità per l'arresto di un veicolo di fronte ad un ostacolo fisso si pone  $h_2 = 0,10$  m.

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

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

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

- se invece  $D > L$

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

Con questi metodi di calcolo si ottengono i valori minimi da rispettare per i raccordi concavi e convessi per la corretta percezione della percorrenza della viabilità.

Nella Tabella 10 si riportano le verifiche sui raccordi altimetrici, evidenziando che i dimensionamenti sono stati sempre condotti per una velocità di progetto di 60 km/h.

Tipo di raccordo	Pendenza iniziale (%)	Pendenza finale (%)	$\Delta i$ (%)	Vmax (km/h)	Raggio (m)	Raggio min (m)	Verifica
Concavo 1	2,254	2,354	0,100	60	8.000	1.500	OK
Convesso 1	2,354	-2,750	-5,104	60	1.650	1.273	OK
Concavo 2	-2,750	-1,354	0,396	60	3.000	-	OK
Concavo 2	-1,354	-0,194	1,150	60	3.000	-	OK
Concavo 3	-0,194	-0,296	-0,102	60	20.000	-	OK

Tabella 10 – Verifica raggi altimetrici di progetto

Come si può notare dalla tabella i raccordi concavi e convessi inseriti lungo il profilo longitudinale di progetto sono tutti verificati nel rispetto dei valori minimi richiesti dal D.M. 05/11/2001. In particolare, per i raccordi concavi 2, 3 e 4, le livellette hanno stessa pendenza longitudinale e non si hanno problemi di visibilità essendo l'angolo di diversione minimo, pertanto qualsiasi raggio inserito soddisfa la verifica e sono stati quindi adottati raccordi che vengono abitualmente considerati per tale tipologia di strada.

## 4. SICUREZZA STRADALE

Come riportato al capitolo 3, l'intervento riguarda l'adeguamento di una viabilità esistente e quindi da un punto di vista normativo occorre fare riferimento al D.M. n. 67/s del 22/04/2004. In particolare, l'Art. 4 della suddetta normativa recita:

*“Fino all'emanazione delle suddette norme, per il conseguimento delle finalità di cui al precedente articolo, i progetti di adeguamento delle strade esistenti devono contenere una specifica relazione dalla quale risultino analizzati gli aspetti connessi con le esigenze di sicurezza, attraverso la dimostrazione che l'intervento, nel suo complesso, è in grado di produrre, oltre che un miglioramento funzionale della circolazione, anche un innalzamento del livello di sicurezza, fermo restando la necessità di garantire la continuità di esercizio dell'infrastruttura”.*

Il presente capitolo ha valenza di relazione di sicurezza stradale in ottemperanza a quanto richiesto dall'articolo della normativa sopra riportato.

### 4.1 Analisi dello stato attuale

Attualmente la viabilità S.S. 15 nel tratto oggetto di adeguamento presenta delle forti criticità. In primo luogo, la piattaforma stradale ha una larghezza variabile da 6,00 m a 6,50 m, con una banchina laterale particolarmente ridotta o assente sul ponte e nei tratti di rilevato in approccio all'opera e quindi non conforme a nessuna delle sezioni tipo previste dal D.M. 05/11/2001.



Foto 1 e Foto 2– Margine laterale in prossimità del ponte esistente

Dal punto di vista planimetrico, la viabilità esistente presenta una curva di raggio  $R= 147$  m senza nessun allargamento della sezione per la visibilità.

Si sono eseguite pertanto le verifiche di visibilità per l'arresto, per una velocità di progetto di 60 km/h, e di iscrizione in curva del veicolo secondo i criteri riportati al paragrafo 3.2.5 della presente relazione.

La distanza di visibilità per l'arresto da garantire per la curva  $R=147\text{m}$  è pari a  $D_a=72\text{m}$ ; sulla base di tale valore occorre avere uno spazio libero interno curva di 4,48 m, tenendo conto che lungo la curva è presente la barriera di sicurezza che limita la visibilità e assumendo che la corsia di marcia ha larghezza di 3,00 m, posizionandoci nella mezzeria della corsia, ne deriva che avrebbe dovuto essere presente un allargamento interno curva di 2,98 m che invece non esiste.

Inoltre, per l'iscrizione in curva del veicolo su ambo i lati della carreggiata sarebbero necessari 0,30 m di allargamento, che anche in questo caso non sono presenti.

Per quel che riguarda le barriere di sicurezza, la situazione attuale appare estremamente critica. Innanzitutto, il dispositivo di ritenuta è ad una distanza ridotta dalla struttura del ponte (Foto 3) e conseguentemente, in caso di urto di un veicolo in svio, il dispositivo di sicurezza non funzionerebbe correttamente in quanto non appare garantita la corretta deformazione del dispositivo di ritenuta che andrebbe ad urtare sulla struttura (o sul parapetto).



Foto 3– Spazio ridotto a tergo del dispositivo di ritenuta

Dietro alla barriera oltretutto, il marciapiede ha una larghezza esigua e, come visibile dalle Foto 1 e 2, non appare raggiungibile vista la presenza di vegetazione che ne preclude l'accessibilità. Altro punto di criticità è rappresentato dalla discontinuità della barriera di sicurezza su ambo i lati della carreggiata, nei tratti in approccio al ponte (sia direzione sud che nord). Infatti, come visibile dalla Foto 4 e 5, la barriera di sicurezza è interrotta e senza neanche l'inserimento di elementi terminali delle barriere e questo rappresenta un fattore di estrema pericolosità visto che un veicolo in svio può urtare frontalmente la barriera o il muro presente con ripercussioni importanti sulla sicurezza dell'utente.



Foto 4 e Foto 5 – Assenza di barriera di sicurezza su ambo i lati della carreggiata in approccio al ponte

## 4.2 Analisi dello stato di progetto

La nuova configurazione di progetto della viabilità esistente prevede l'adozione di una sezione tipo C2 – Strada Extraurbana secondaria conforme al D.M. 05/11/2001 con velocità di progetto di 60 km/h, che rientra nell'intervallo di velocità da assumere per tale tipologia di strada secondo normativa.

Gli elementi geometrici, sia planimetrici che altimetrici, come riportato nei precedenti paragrafi, sono tutti verificati secondo quanto previsto dal D.M. 05/11/2001 (ad eccezione del criterio del contraccolpo per mancanza dello spazio fisico per l'inserimento di clotoidi di sviluppo tale da verificare tale criterio).

Inoltre, per la curva  $R=118,00$  m è stato previsto un allargamento pari a 0,40 m su ambo i lati della viabilità per garantire l'iscrizione in curva del veicolo, a cui si deve aggiungere per l'interno curva un ulteriore allargamento di 2,65 m per garantire la visibilità per l'arresto, in ottemperanza al D.M. 05/11/2001.

Le barriere di sicurezza (bordo laterale H1 e bordo ponte H2) sono state definite rispettando la normativa vigente in materia e tali da funzionare correttamente sulla base degli spazi a disposizione a tergo della barriera (sono state prese in considerazione sia la larghezza operativa  $W$  che l'intrusione del veicolo  $VI$ ). Inoltre, nel passaggio dalla barriera bordo rilevato alla barriera bordo ponte è stata prevista la continuità delle barriere con l'inserimento di opportuni elementi di transizione di sviluppo adeguato.

Infine, ulteriori elementi che concorrono ad incrementare la sicurezza per tutte le componenti di traffico riguardano:

- ✓ rifacimento della pavimentazione esistente;
- ✓ rifacimento della rete di smaltimento delle acque;
- ✓ rifacimento della segnaletica verticale ed orizzontale secondo il Codice della Strada (prevedendo anche la zebratura del tratto di curva allargato).



- ✓ nuove barriere di sicurezza sia in rilevato che sul ponte
- ✓ nuovo impianto di illuminazione lungo l'intero percorso

### 4.3 Conclusioni

Dal confronto fra lo stato attuale e quello di progetto risulta evidente il miglioramento significativo della sicurezza per tutte le componenti di traffico in transito. Basti pensare che attualmente l'impianto di illuminazione non è presente e che le condizioni, ad esempio, del verde non sono perfettamente mantenute.

In questo quadro gli elementi normativi non perfettamente rispettati (ad esempio lunghezze del rettifilo tra due curve che coinvolge peraltro un tratto non oggetto di intervento o la lunghezza delle clotoidi) si possono ritenere compensate dalle migliorie agli arredi ed alla pavimentazione, nonché all'assunzione di una velocità amministrativa pari a 50 km/h sull'intero percorso. Si ricorda che tale velocità è compatibile con il raggio della curva più piccola presente lungo il tracciato ( $R=118$  m).

## 5. PROGETTO STRADALE VIABILITA' PROVVISORIA

Al fine di consentire sempre il transito dei veicoli durante i lavori di costruzione degli interventi di adeguamento dell'Idrovia ferrarese (compresi il nuovo ponte e la viabilità di approccio all'opera), è prevista la realizzazione di una viabilità provvisoria che dovrà rimanere in esercizio durante tutta la fase di costruzione.

Tale viabilità, pertanto, pur se da intendersi come una viabilità provvisoria che poi sarà dismessa a lavori ultimati, è stata progettata secondo la normativa vigente al fine di garantire la percorrenza in sicurezza degli utenti.

La sezione adottata è conforme ad una sezione tipo F2 – Strada locale in ambito extraurbano del DM 05/11/2001, la cui piattaforma risulta costituita da una carreggiata a due corsie una per senso di marcia dei veicoli di larghezza 3,25 m e da due banchine di larghezza pari a 1,00 m, per una dimensione complessiva della sezione stradale di 8.50 m (Figura 6).

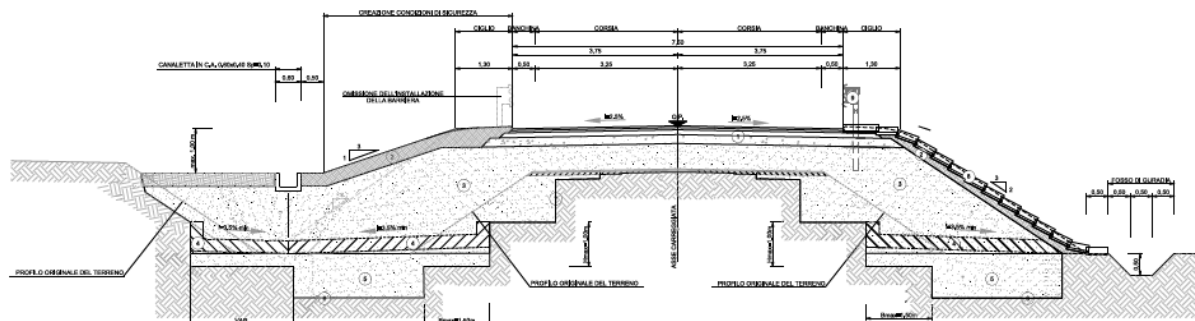


Figura 6 – Sezione tipo F2 viabilità provvisoria

Per quel che riguarda gli elementi marginali, si prevede un arginello da 1,30 m su ambo i lati della carreggiata, in cui verrà alloggiato il dispositivo di sicurezza. Le scarpate del rilevato avranno pendenza 2/3 lungo l'intero sviluppo, ad eccezione del tratto interno della curva R = 118 m in cui si è previsto di adottare una pendenza della scarpata 1/3 che, combinata con un'altezza dei rilevati non superiore a 1,00 m, consente, visto che non sono presenti ostacoli e/o edifici al piede della scarpata, di non inserire il dispositivo di sicurezza come riportato all'Art. 3 del D.M. 21/06/2004 (vedere particolare Figura 7).

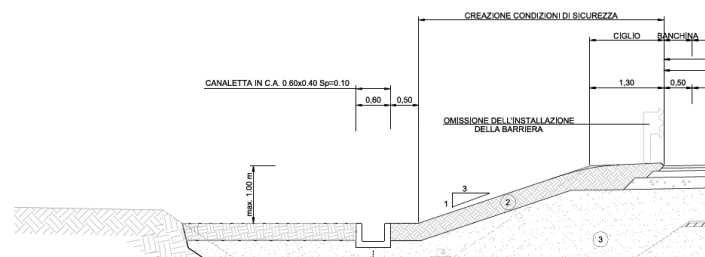


Figura 7 – Configurazione scarpata interno curva della viabilità provvisoria

Tale viabilità provvisoria ha uno sviluppo complessivo di circa 368 m e parte dall'intersezione esistente di Medelana per poi innestarsi su una viabilità provvisoria già realizzata (che comprende anche un nuovo ponte sul Rero), che viene in parte dismessa ed adeguata alla nuova configurazione plano-altimetrica della strada in progetto.

Gli elementi geometrici della strada, sia planimetrici che altimetrici, sono stati definiti per una velocità di progetto di 60 km/h, seguendo gli stessi criteri adottati per la viabilità principale e quindi dimensionati secondo la normativa vigente.

Da un punto di vista dell'andamento planimetrico si prevede una sequenza di rettifili e curve con l'inserimento delle curve a raggio variabile (clotoidi).

Nella seguente Tabella 11 sono riportati gli elementi geometrici planimetrici:

Elemento	Progr. iniziale (m)	Progr. finale (m)	Vmax (km/h)	Raggio R (m)	Parametro A	Lunghezza (m)
Rettifilo n. 1	0+000,00	0+002,93	60	-	-	2,93
Curva n. 1	0+002,93	0+175,43	60	1.150,00	-	172,50
Clotoide n. 1	0+175,43	0+207,17	60	-	61,20	31,74
Curva n. 2	0+207,17	0+225,81	60	118,00	-	48,64
Clotoide n. 2	0+225,81	0+287,56	60	-	61,20	31,74
Curva n. 2	0+287,56	0+337,37	60	1.150,00	-	48,39
Rettifilo n. 2	0+337,37	0+368,07	60	-	-	30,70

Tabella 11 – Elementi planimetrici viabilità provvisoria

Data: Settembre 2021	Rev.: 1	Doc.: II134P-RT-010-1
----------------------	---------	-----------------------

I rettifili 1 e 2 sono stati inseriti all’inizio e alla fine della viabilità e proseguono poi sulla viabilità esistente a cui si innestano e pertanto le verifiche sulla loro lunghezza minima non sono da eseguirsi visto che il loro sviluppo è maggiore tenendo conto dei tratti in rettilineo esistenti. Per quanto riguarda le curve di ampio raggio  $R = 1.150,00$  m valgono le stesse considerazioni fatte per la viabilità principale (vedere paragrafo 3.2.2), mentre per la curva  $R = 118$  m la verifica è soddisfatta come riportato nella Tabella 12.

Elemento	Vmax (km/h)	Raggio (m)	Sviluppo (m)	Pt (%)	$R \geq R_{min}$ (m)	$S_v \geq S_{min}$ (m)	$P_t \geq P_{tmin}$ (%)	Lr (m)	$R > L_r$	Verifica
Arco	60	118	49,05	7	118	48,64	7	48,39	Si	Ok

Tabella 12 – Verifica curva circolare  $R=118$  m della viabilità provvisoria

Le clotoidi inserite hanno le stesse caratteristiche (sviluppo e parametro A) di quelle adottate per la viabilità principale e si rimanda al paragrafo 3.2.4 per gli esiti delle verifiche eseguite.

Per quel che riguarda la distanza di visibilità per l’arresto e i conseguenti eventuali allargamenti della carreggiata per garantire la visuale libera, valgono i criteri riportati al paragrafo 3.2.5. Nel caso specifico lungo il lato interno della curva  $R = 118,00$  m, come sopra riportato, non verrà inserito nessun dispositivo di sicurezza e pertanto la visuale libera è sempre garantita. E’ invece da prevedere l’allargamento di 0,40 m per l’iscrizione in curva del veicolo su entrambi i lati della carreggiata.

Per quanto riguarda l’andamento altimetrico, valgono le considerazioni riportate al capitolo 3.3 sul calcolo dei valori minimi da rispettare per i raccordi concavi e convessi per la corretta percezione della percorrenza della viabilità.

Nella Tabella 13 si riportano i valori dei raccordi altimetrici, evidenziando che i dimensionamenti sono stati sempre condotti per una velocità di progetto di 60 km/h.

Tipo di raccordo	Pendenza iniziale (%)	Pendenza finale (%)	$\Delta i$ (%)	Vmax (km/h)	Raggio (m)
Convesso 1	0,288	0,049	0,139	60	20.000
Concavo 1	0,049	0,800	0,751	60	6.200
Convesso 2	0,800	-0,319	-1,119	60	10.000
Concavo 2	-0,319	0,400	-0,719	60	2.500
Concavo 3	0,400	-1,587	-1,987	60	1.900

Tabella 13 – Verifica raggi altimetrici viabilità provvisoria

Visto che la diversione tra le livellette adottate è minima, qualsiasi raccordo (concavo o convesso) venga utilizzato garantisce la visibilità come richiesto dal D.M. 05/11/200; pertanto sono stati inseriti raccordi altimetrici che abitualmente vengono adottati per tale tipologia di strada.

Data: Settembre 2021	Rev.: 1	Doc.: II134P-RT-010-1
----------------------	---------	-----------------------

## 6. LA SOVRASTRUTTURA STRADALE

La pavimentazione stradale (o sovrastruttura) è la struttura direttamente soggetta alle azioni dei veicoli. Le sue funzioni fondamentali sono:

1. garantire una superficie di rotolamento regolare e poco deformabile;
2. ripartire sul terreno sottostante le azioni dei veicoli, in misura tale che non si abbiano deformazioni del piano viabile pericolose per il traffico;
3. proteggere il terreno sottostante dagli agenti atmosferici.

Le scelte effettuate per il pacchetto di pavimentazione in sede di dimensionamento, influenzano anche le modalità d'esercizio dell'intera infrastruttura che può essere soggetta ad interventi di manutenzione più o meno radi durante la vita utile della pavimentazione stessa.

Quanto detto vuole richiamare l'attenzione sulla particolare importanza che assume la progettazione della sovrastruttura stradale in termini di eventuali disagi arrecati all'utenza ed al gestore della tratta stradale, nel caso di un errato dimensionamento.

### 6.1 Analisi del traffico e dei carichi

Il dimensionamento mediante calcolo “a fatica” di una sovrastruttura stradale richiede la previsione dei carichi che questa dovrà sopportare durante la sua vita utile e quindi del traffico veicolare, in particolar modo di quello pesante in quanto le autovetture e gli autocarri di piccole dimensioni non sono significativi ai fini del calcolo.

Non esiste un criterio Normativo che stabilisca un valore minimo per la vita utile di una sovrastruttura stradale ma, nella pratica corrente, si assume convenzionalmente un valore pari a 20 anni. Le verifiche che seguono sono pertanto basate su questo criterio.

I dati di traffico utilizzati sono quelli ricavati dalla relazione “IDROVIA FERRARESE 2 Lotto 1 str/PARTE. Lavori di realizzazione del ponte provvisorio e dell'annessa viabilità di Via della Pace a Final di Rero – Progetto costruttivo – relazione tecnico illustrativa”.

Valori più elevati dei flussi di traffico – Postazione 661 - Media giornaliera

Mese	Totale	Leggeri	Pesanti	Diurno	Notturmo	Feriali	Festivi
Luglio 2012	2572	2488	83	1683	889	2372	3062
	2463	2378	85	1902	561	2308	2824
Luglio 2011	2581	2501	80	1956	625	2451	2854
	2653	2574	78	1759	894	2421	3140

Tabella 14 - stralcio dati di traffico

L'eterogeneità del traffico veicolare pesante richiede di rapportare gli effetti prodotti da un dato carico ad una sola tipologia di carico. Attraverso il calcolo del numero di assi standard

equivalenti (E.S.A., Equivalent Standard Axle) è possibile omogeneizzare, rispetto ad un asse di riferimento, i carichi che agiscono su una determinata pavimentazione stradale, in modo da potere poi confrontare il numero di tali assi standard (NESA) con quelli che la pavimentazione è in grado di sopportare nell'arco dell'intera vita utile (NMAX). Per calcolare la sovrastruttura, utilizzando un unico carico di riferimento, è necessario determinare il coefficiente di equivalenza totale del veicolo generico (EFTOT), con la seguente metodologia:

- individuazione della distribuzione frazionata dei tipi di veicoli ( $p_j$ ) componenti il traffico;
- determinazione, limitatamente ai soli veicoli commerciali ( $tara > 15$  kN), del coefficiente di equivalenza del singolo veicolo appartenente alla classe  $j$ -esima ( $EF_j$ ), come somma dei coefficienti di equivalenza dei suoi assi, siano essi singoli, tandem o tridem;
- coefficiente di equivalenza totale (EF) riferito alle  $m$  tipologie di veicoli commerciali transitanti sulla sovrastruttura dato dalla sommatoria:

$$EF_{TOT} = \sum_{j=1,m} p_j \cdot EF_j$$

da cui è possibile calcolare:  $N_{ESA} = EF_{TOT} \cdot TGM$

Le percentuali delle singole tipologie di veicoli sono state calcolate sulla base di quanto esposto nella CNR B.U. 178/95 "Catalogo delle pavimentazioni stradali" che indica:

- gli spettri tipici dei veicoli commerciali con la frequenza espressa in percentuale (tabella 1) per il tipo di strada in esame, ossia un tipo 4 strada extraurbana secondaria.
- le tipologie dei veicoli, il numero di assi e la distribuzione di carichi per asse (tabella 2);

Data: Settembre 2021	Rev.: 1	Doc.: II134P-RT-010-1
----------------------	---------	-----------------------

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 15 - CNR B.U. 178/95 "Catalogo delle Pavimentazioni stradali" – spettri di traffico

Tipo di veicolo	N° di assi	Distribuzione dei carichi per asse in KN		
1) Autocarri leggeri	2	↓10	↓20	
2) Autocarri leggeri	2	↓15	↓30	
3) Autocarri medi e pesanti	2	↓40	↓80	
4) Autocarri medi e pesanti	2	↓50	↓110	
5) Autocarri pesanti	3	↓40	↓80 ↓80	
6) Autocarri pesanti	3	↓60	↓100 ↓100	
7) Autotreni e autoarticolati	4	↓40	↓90	↓80 ↓80
8) Autotreni e autoarticolati	4	↓60	↓100	↓100 ↓100
9) Autotreni a autoarticolati	5	↓40 ↓80 ↓80	↓80 ↓80	
10) Autotreni e autoarticolati	5	↓60 ↓90 ↓90	↓100 ↓100	
11) Autotreni e autoarticolati	5	↓40 ↓100	↓80 ↓80 ↓80	
12) Autotreni e autoarticolati	5	↓60 ↓110	↓90 ↓90 ↓90	
13) Mezzi d'opera	5	↓50 ↓120	↓130 ↓130 ↓130	
14) Autobus	2	↓40	↓80	
15) Autobus	2	↓60	↓100	
16) Autobus	2	↓50	↓80	

Tabella 16 - CNR B.U. 178/95 "Catalogo delle Pavimentazioni stradali" – tipi di veicoli organizzati ai fini della progettazione stradale di pavimentazioni

Per quanto riguarda il tracciato in esame, classificabile come autostrada extraurbana (tipo 1), l'analisi condotta fornisce un Equivalency Factor totale pari a:

$$EF_{TOT} = \sum_{j=1,m} p_j \cdot EF_j = 2,13$$

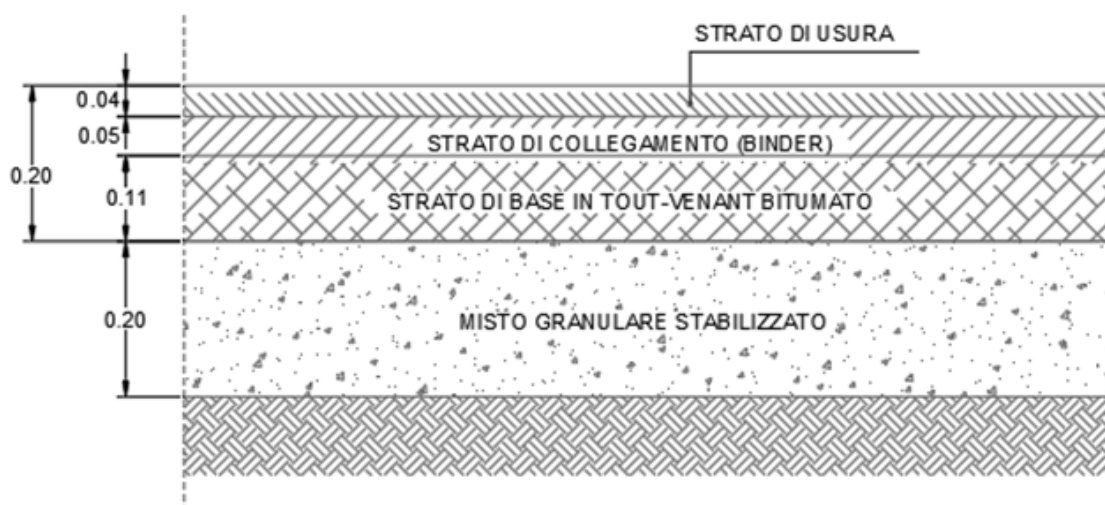
Si ottiene, quindi, un valore di traffico cumulativo massimo pari a:

$$NESA \ 81,6 \text{ kN} = EF \text{ tot} \cdot TGM = 1.33 \cdot 106$$

## 6.2 Pavimentazione

La sovrastruttura adottata è di tipo flessibile e prevede gli strati riportati in *tabella 3*:

Sovrastruttura		
Strato	Materiale	Spessore [cm]
Usura	Conglomerato bituminoso	4
Binder	Conglomerato bituminoso	5
Base	Tout venant bitumato	11
Fondazione	Stabilizzato granulometrico	20
<b>Totale</b>		<b>40</b>



L'analisi della sovrastruttura viene condotta con un metodo semi-empirico: si basa sui risultati sperimentali integrati da considerazioni teoriche, tenendo conto della portanza dei terreni di sottofondo, della condizione igrometrica e del traffico.

Nello specifico il metodo empirico dell'AASHTO Guide for Design of Pavement Structure – 1993 - permette di ricavare il numero totale di passaggi di assi equivalenti da 8,2 t (ESALS) che la pavimentazione riesce a sopportare prima di raggiungere il valore di PSI finale (PSI = Present Serviceability Index), in corrispondenza del quale si ritiene che la pavimentazione sia giunta al termine della sua vita utile e quindi necessiti di manutenzione.

Note le caratteristiche dei materiali (degli strati legati a bitume, di quelli in misto granulare o stabilizzato, della portanza del sottofondo), ed avendo assegnato spessori di primo tentativo ai vari strati, è possibile avviare un procedimento iterativo che permette di convergere verso la soluzione finale.

La convergenza del metodo prevede che il numero massimo di assi che la pavimentazione può sopportare sia superiore o al limite uguale al traffico previsto sulla sovrastruttura in esame

durante l'intera vita utile, espresso sempre in numero di assi di veicoli commerciali equivalenti e derivante da analisi di traffico.

Le variabili su cui agire per portare a convergenza il metodo sono, quindi, proprio gli spessori dei vari strati e le caratteristiche dei materiali. La formula utilizzata è la seguente:

$$\log(W_{18}) = Z_r \cdot S_0 + 9.36 \cdot \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \cdot \log(M_r) - 8.07$$

essendo:

W<sub>18</sub> numero massimo di assi equivalenti da 8,2 t (ESALS) che portano la pavimentazione al valore PSI finale;

ΔPSI differenza tra l'indice di funzionalità (PSI) della pavimentazione all'inizio (assunto di solito pari a 4.2 per pavimentazioni flessibili) e al termine della vita utile;

S<sub>0</sub> deviazione standard relativa alle variazioni dalle previsioni di traffico e dalle prestazioni della pavimentazione, valore assunto mediamente pari a 0,45;

Z<sub>r</sub> fattore di affidabilità, dedotto dall'interpolazione dei valori di tabella del Catalogo della Pavimentazioni CNR (di seguito riportata), in funzione dell'affidabilità percentuale R<sub>1</sub>;

Fattore di Affidabilità Z <sub>r</sub>				
R <sub>1</sub>	80%	85%	90%	95%
Z <sub>r</sub>	-0,841	-1,037	-1,282	-1,645

M<sub>r</sub> Il parametro scelto per caratterizzare la portanza del sottofondo è il modulo resiliente M<sub>r</sub>, modulo elastico che consente di tener conto anche della componente viscosa reversibile della deformazione che viene ricavato mediante prove dinamiche a bassa frequenza 0.5÷1 Hz;

SN indice strutturale, che tiene conto degli spessori degli strati (s<sub>i</sub>), delle caratteristiche dei materiali dei vari strati (a<sub>i</sub>), del drenaggio assicurato dagli strati non legati a bitume (m<sub>i</sub>):

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

### 6.2.1. Verifica sovrastruttura

Per il calcolo si fa riferimento ad una strada di tipo “extraurbana secondaria” considerando i seguenti parametri: una portanza del sottofondo, a favore di sicurezza, pari a 45 N/mm<sup>2</sup> (modulo resiliente M<sub>r</sub>), un livello di affidabilità, assunto pari al 85%, un indice di funzionalità finale PSIf = 2,5.



Data: Settembre 2021	Rev.: 1	Doc.: II134P-RT-010-1
----------------------	---------	-----------------------

INDICI DI FUNZIONALITÀ		
PSli	PSIf	A
4,2	2,5	1,7

Nello specifico i parametri utilizzati nel calcolo risultano essere i seguenti:

Traffico	
W <sub>81,6 kN</sub>	1,33E+06
Affidab.	85%
Zr	-1,037
S <sub>0</sub>	0,45

Si riporta di seguito la tabella di calcolo del parametro SN: il valore ottenuto deve essere espresso in pollici, per cui lo si divide per il fattore di conversione 2,54.

Sovrastuttura Idrovia ferrarese				
Layer	Description	ai	si [cm]	ai*si*mi
1	Usura cb	0,43	4	1,7
1	Binder cb	0,41	5	2,1
2	Base tout venant bitumato	0,33	11	3,6
3	Stab granulom	0,11	20	2,2
<b>SN = <math>\Sigma (ai*si*mi)/2.54</math></b>				<b>3,78</b>

Il numero di assi standard che portano al PSI finale (pari a 2,5) la pavimentazione è pari a:

$$W_{18 \max} \quad 1,57E+06 < N_{des}$$

Si ritiene pertanto che la pavimentazione sia verificata.

Per le opere d'arte il pacchetto si limita ai primi due strati per un totale di 9 cm a cui si aggiunge un telo impermeabilizzante di protezione sottostante.

La posa in opera del nuovo pacchetto di sovrastruttura avverrà dopo aver rimosso la pavimentazione esistente, ove presente, che sarà parzialmente reimpiegata per costituire i nuovi strati dopo gli opportuni trattamenti di recupero per il riciclaggio dei materiali. Il materiale di risulta che non dovesse presentare caratteristiche adeguate alla formazione della nuova sovrastruttura verrà portato a discarica.

## 7. BARRIERE DI SICUREZZA

Il progetto dei dispositivi di ritenuta fornisce le indicazioni per l'installazione delle barriere di sicurezza lungo i bordi laterali, sulle opere d'arte e nei punti del tracciato che necessitano di una specifica protezione per la presenza di ostacoli potenzialmente esposti all'urto da parte di veicoli in svio.

Il presente progetto è redatto conformemente a quanto richiesto dall'art. 2 del Decreto n. 223 del 18/02/1992, così come modificato dal D.M. 03/06/1998, dal D.M. 21/06/2004 e dal /D.M. 28/06/2011. Il progetto è redatto attenendosi alle indicazioni contenute nella Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 21/07/2010 n. 62032 "Uniforme applicazione delle norme in materia di progettazione, omologazione e impiego dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali".

Inoltre, per il rilascio della marcatura CE ai sensi delle norme EN1317, i dispositivi di ritenuta stradale, devono essere sottoposti, preliminarmente al loro impiego, a una serie di crash test che ne certifichino le prestazioni, raffrontandole ai requisiti imposti dalle norme stesse.

### 7.1 Classificazione dei livelli di traffico per il progetto delle barriere

Per la definizione delle classi di barriere da adottare in progetto risulta necessario, secondo quanto previsto dal D.M. 21.06.2004, definire, oltre alla classe funzionale ed alla destinazione delle protezioni (bordo rilevato, bordo ponte e spartitraffico), la classe di traffico a cui appartiene la strada oggetto di progettazione.

La classe di traffico di un dato arco si definisce in funzione del Traffico Giornaliero Medio (TGM) bidirezionale (o totale ma monodirezionale nel caso di archi a senso unico di marcia) e della percentuale di veicoli pesanti (di massa > 3.5 t), secondo lo schema di Tabella 14.

<b>Tipo di traffico</b>	<b>TGM bidirezionale</b>	<b>% VP</b>
<b>I</b>	≤ 1000	Qualunque
	> 1000	%VP ≤ 5
<b>II</b>	> 1000	5 < %VP ≤ 15
<b>III</b>	> 1000	%VP > 15

Tabella 17 - Schema per la definizione dei livelli di traffico

La viabilità di progetto è classificata come "Strada extraurbana secondaria" Categoria C2.

Il tipo di traffico è del **tipo II** TGM > 1000 veh/g - % veicoli pesanti di massa superiore a 3000 kg = 5% - 15% (percentuale di mezzi pesanti maggiore del 5% e minore del 15%). I dati di traffico sono stati desunti dal precedente progetto esecutivo e dal successivo PROGETTO COSTRUTTIVO dei LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL PONTE PROVVISORIO, allegato alla STR-004 del presente PE, che riporta i dati di traffico impiegati per il dimensionamento dell'opera stradale a carattere provvisorio ad oggi in esercizio. Rispetto all'ultimo riferimento

Data: Settembre 2021	Rev.: 1	Doc.: II134P-RT-010-1
----------------------	---------	-----------------------

si specifica che prudenzialmente è stata considerata una tipologia di traffico pesante di con percentuale che ricade nel tipo II.

## 7.2 Definizione del tipo e della classe dei dispositivi di ritenuta

Il D.M. n. 2367 del 21/06/2004 fornisce la classe minima da adottare per le barriere di sicurezza per le diverse destinazioni (spartitraffico, bordo laterale e bordo ponte) in funzione del livello di traffico e del tipo di strada, come riportato in Tabella 15.

Tipo di strada	Traffico	Destinazione barriera		
		Barriere spartitraffico	Barriere bordo laterale	Barriere bordo ponte
Autostrade (A) e strade extraurbane principali (B)	I	H2	H1	H2
	II	H3	H2	H3
	III	H3-H4 (*)	H2-H3 (*)	H3-H4 (*)
Strade extraurbane secondarie (C) e Strade urbane di scorrimento (D)	I	H1	N2	H2
	II	H2	H1	H2
	III	H2	H2	H3
Strade urbane di quartiere (E) e strade locali (F)	I	N2	N1	H2
	II	H1	N2	H2
	III	H1	H1	H2

(\*) La scelta tra le due classi sarà determinata dal progettista.

Tabella 18: classi minime di barriere ai sensi del DM 21.6.2004

Pertanto, per il progetto in oggetto si prevede l'installazione delle seguenti tipologie di barriere:

- Barriere H1 Bordo laterale: in corrispondenza dei rilevati con altezza maggiore di 1,00m
- Barriere H2 Bordo ponte: in corrispondenza del ponte e del tratto tra muri.

## 7.3 Criteri di installazione delle barriere di sicurezza

Le barriere di sicurezza da installare devono essere dotate della marcatura CE ai sensi delle norme EN1317.

Pertanto, preliminarmente al loro impiego, devono essere sottoposte ad una serie di crash test che ne certifichino le prestazioni, raffrontandole ai requisiti imposti dalle norme stesse.

In particolare, le prove di crash test sono necessarie a verificare i seguenti requisiti fondamentali di un dispositivo di ritenuta stradale:

- la capacità di contenimento del veicolo di progetto;
- il corretto rinvio del veicolo sulla carreggiata in seguito all'urto;
- la minimizzazione dei rischi di lesioni per gli occupanti dei mezzi leggeri attraverso la limitazione delle decelerazioni.

Per ogni tipologia di barriera di sicurezza secondo quanto indicato nelle norme UNI EN 1317 parte 1 e 2 devono essere specificati i seguenti parametri:

Data: Settembre 2021	Rev.: 1	Doc.: II134P-RT-010-1
----------------------	---------	-----------------------

- ✓ Livello di contenimento,
- ✓ Indice di severità,
- ✓ Larghezza operativa della barriera di sicurezza W
- ✓ Intrusione del veicolo (VI)

### Livello di contenimento

Il livello di contenimento rappresenta l'energia cinetica posseduta dal mezzo all'atto dell'impatto, calcolata con riferimento alla componente della velocità ortogonale alle barriere, espressa da:

$$Lc = 1/2 M (v \text{ sen } \theta)^2$$

Dove: Lc = • livello di contenimento [kJ]; • M = massa del veicolo [t]; • v = velocità d'impatto [m/s]; •  $\theta$  = angolo d'impatto.

Con riferimento ai livelli di contenimento, la normativa europea UNI EN 1317 prevede i seguenti livelli di contenimento suddivisi in 4 gruppi:

- contenimento con angolo basso (livelli T1, T2 e T3)
- contenimento normale (livelli N1 e N2),
- contenimento più elevato (livelli H1, L1, H2, L2, H3 e L3)
- contenimento molto elevato (livelli H4a, H4b, L4a, L4b).

In particolare, ciascun livello di contenimento deve essere conforme ai requisiti del prospetto 2 della UNI EN 1317-2 quando sottoposte a prova in base ai criteri di prova d'urto dei veicoli definiti nel prospetto 1 della norma stessa.

In Tabella 16 si riporta per ciascuna tipologia di barriera le prove da effettuare, con i valori definiti sulla base prospetti della normativa europea sopra richiamati.

CLASSE BARRIERA	PROVA EFFETTUATA	VELOCITÀ [KM/H]	ANGOLO DI IMPATTO [°]	MASSA DEL VEICOLO [KG]	TIPO DI VEICOLO
N1	TB31	80	20	1500	AUTOVETTURA
N2	TB11	100	20	900	AUTOVETTURA
	TB32	110	20	1500	AUTOVETTURA
H1	TB11	100	20	900	AUTOCARRO
	TB42	70	15	10000	AUTOCARRO
H2	TB11	100	20	900	AUTOCARRO
	TB51	70	20	13000	O AUTOBUS
H3	TB11	100	20	900	AUTOCARRO
	TB61	80	20	16000	AUTOCARRO
H4A	TB11	100	20	900	AUTOCARRO
	TB71	65	20	30000	AUTOCARRO
H4B	TB11	100	20	900	AUTOARTICOLATO
	TB81	65	20	38000	AUTOARTICOLATO

Data: Settembre 2021	Rev.: 1	Doc.: II134P-RT-010-1
----------------------	---------	-----------------------

Tabella 19: Prove da eseguirsi sulle varie tipologie di barriere per la verifica del livello di contenimento

### Indice di severità

Per quanto concerne la severità dell'urto, si fa riferimento agli indici di severità che forniscono una misura probabilistica del rischio di lesione per gli occupanti dei veicoli leggeri. A tal proposito i parametri più diffusi e rappresentativi sono l'ASI e il THV.

L'ASI (Acceleration Severity Index) esprime il livello di accelerazioni subito dagli occupanti del veicolo, considerati seduti, con cinture di sicurezza allacciate:

$$ASI(t) = \sqrt{\left(\frac{a_x}{12g}\right)^2 + \left(\frac{a_y}{9g}\right)^2 + \left(\frac{a_z}{10g}\right)^2}$$

dove  $a_x(t)$ ,  $a_y(t)$ ,  $a_z(t)$  sono le tre componenti dell'accelerazione, variabili nel tempo, determinate su un intervallo mobile di 50 ms, mentre i valori a denominatore rappresentano le componenti delle accelerazioni massime tollerabili dal corpo umano.

Il THIV (Theoretical Head Impact Velocity) rappresenta invece la velocità teorica con cui la testa impatta su un'ipotetica superficie interna del veicolo alla fine del tempo di volo:

$$THIV(t) = \sqrt{v_x^2(t) + v_y^2(t)}$$

dove  $v_x(t)$  e  $v_y(t)$  sono le velocità (km/h) relative del corpo rispetto al veicolo riferite agli assi x e y.

Nella Tabella 17 viene sintetizzato il livello di severità dell'urto in funzione degli indici ASI e THV descritti.

LIVELLO DI SEVERITÀ DELL'URTO	INDICI	
A	$ASI \leq 1,0$	*THIV $\leq 33$ KM/H
B	$1,0 < ASI \leq 1,4$	
C	$1,4 < ASI \leq 1,9$	
*Per quanto concerne il parametro THIV le norme prescrivono un valore massimo pari a 33 km/h per le barriere di sicurezza (UNI EN 1317-2) e 44 km/h per attenuatori e terminali (UNI EN 1317-3 e 4).		

Tabella 20: Livelli di severità dell'urto

### Deflessione dinamica (Dm), Larghezza operativa (Wm) e Intrusione del veicolo (VIm)

I risultati delle prove di crash test forniscono importanti parametri utili alla descrizione delle geometrie di deformazione del sistema di ritenuta in seguito ad un urto. I parametri relativi agli spostamenti trasversali degli elementi della barriera e del veicolo sono: la **deflessione dinamica (Dm)**, la **larghezza operativa (Wm)** e l'**intrusione del veicolo (VIm)**.

La Deflessione dinamica (Dm) è definita come "il massimo spostamento dinamico trasversale del fronte del sistema di contenimento".

Invece la larghezza operativa ( $W_m$ ) è definita come “la distanza tra la posizione iniziale del fronte del sistema di contenimento e la massima posizione dinamica laterale di qualsiasi componente principale del sistema”.

Infine l'intrusione del veicolo ( $VIm$ ), tipica degli autocarri, misura la distanza tra la posizione iniziale del fronte lato strada della barriera di sicurezza e la massima posizione dinamica laterale di qualsiasi componente principale del veicolo.

In Figura 8 si riportano gli schemi per la misura dei parametri sopra descritti.

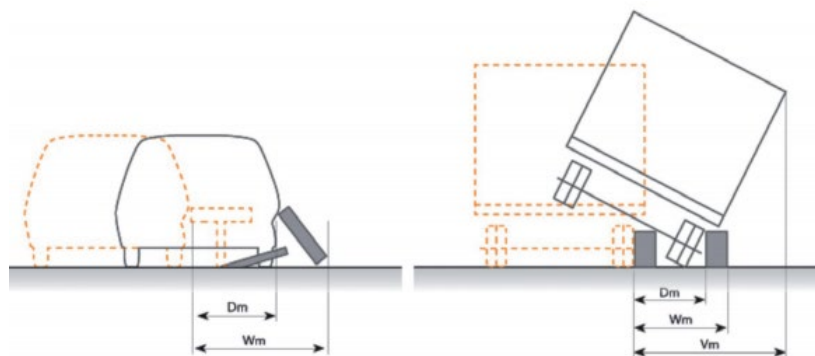


Figura 8 – Schemi per la misurazione della deflessione dinamica ( $D_m$ ), larghezza operativa  $W$  e Intrusione del veicolo ( $VI$ )

I parametri sopra descritti, misurati nel corso delle prove di crash test, devono essere riportati nei rapporti di prova sia come valori effettivi che come valori normalizzati. Questi ultimi consentono la classificazione così come previsto dalla normativa vigente. Nelle tabelle seguenti vengono riportati i valori normalizzati per la larghezza operativa e l'intrusione del veicolo.

CLASSI CON LARGHEZZA OPERATIVA NORMALIZZATA	LIVELLI DI LARGHEZZA OPERATIVA NORMALIZZATA	CLASSI DI INTRUSIONE VEICOLO NORMALIZZATI	LIVELLI DI INTRUSIONE VEICOLO NORMALIZZATI
W1	$W_N \leq 0,6 \text{ M}$	VI1	$VI_N \leq 0,6 \text{ M}$
W2	$W_N \leq 0,8 \text{ M}$	VI2	$VI_N \leq 0,8 \text{ M}$
W3	$W_N \leq 1,0 \text{ M}$	VI3	$VI_N \leq 1,0 \text{ M}$
W4	$W_N \leq 1,3 \text{ M}$	VI4	$VI_N \leq 1,3 \text{ M}$
W5	$W_N \leq 1,7 \text{ M}$	VI5	$VI_N \leq 1,7 \text{ M}$
W6	$W_N \leq 2,1 \text{ M}$	VI6	$VI_N \leq 2,1 \text{ M}$
W7	$W_N \leq 2,5 \text{ M}$	VI7	$VI_N \leq 2,5 \text{ M}$
W8	$W_N \leq 3,5 \text{ M}$	VI8	$VI_N \leq 3,5 \text{ M}$
		VI9	$VI_N > 3,5 \text{ M}$

Tabella 21 e Tabella 22: Valori normalizzati per larghezza operativa  $W_m$  e Intrusione del veicolo  $VIm$

### 7.3.1. Requisiti prestazionali dei dispositivi di ritenuta da installare

Sulla base dei criteri di installazione sopra riportati e sulla base degli spazi a disposizione per il corretto funzionamento delle barriere di sicurezza da installare, in progetto sono previsti dispositivi aventi i requisiti prestazionali indicati in Tabella 20.

Data: Settembre 2021	Rev.: 1	Doc.: II134P-RT-010-1
----------------------	---------	-----------------------

Classe	Livello di Severità	Lunghezza infissione	W	VI
H1 bordo laterale	A	$\leq 1.2$ m	W2 – $W \leq 0.80$ m	VI4 - $VI \leq 1.30$ m
H4 Bordo Ponte	B	-	W1 – $W \leq 0.60$ m	VI4 - $VI \leq 1.30$ m

Tabella 23: Requisiti prestazionali dei dispositivi di ritenuta considerati in progetto

Per l'installazione corretta delle barriere, poiché il campo prove sul quale vengono eseguiti i test di certificazione ha una superficie orizzontale e uno strato fondazionale di buone caratteristiche meccaniche, si è optato per prolungare anche al di sotto dell'arginello gli strati di misto granulare stabilizzato per l'intera larghezza dell'arginello e lo strato di base per una lunghezza conveniente al di là della piantana infissa. Inoltre, per la verifica dei parametri prestazionali delle barriere, gli elementi di arredo stradale come l'illuminazione pubblica e i pali di sostegno della segnaletica verticale sono stati posizionati ad una distanza minima pari a 1,30 m, quindi superiore al massimo parametro progettuale della barriera, nello specifico all'intrusione del veicolo. Fanno eccezione i pali di illuminazione nel tratto ove sono presenti muri di sostegno, per i quali è stata adottata una soluzione progettuale con pali di tipo a resistenza passiva che garantiscono un'installazione certificata anche in adiacenza alla barriera.

#### 7.4 Transizioni

Il DM 3 giugno 1998 riporta: "Il raccordo tra bordo ponte e bordo rilevato va ottenuto in modo graduale". Le transizioni tra barriere di diverso tipo e classe dovranno essere ottenute secondo quanto indicato nella normativa UNI ENV 1317, parte 4, del maggio 2003, inerente "Classi di prestazione, criteri di accettazione per la prova d'urto e metodi di prova per terminali e transizioni delle barriere di sicurezza", utilizzando i raccordi ed i pezzi speciali di giunzione previsti dal costruttore, curando che non rimangano in alcun caso discontinuità tra gli elementi longitudinali che compongono le barriere.

Lo sviluppo longitudinale delle transizioni è determinato sulla base della differenza di deformazione dinamica delle singole barriere da raccordare; inoltre, le transizioni dovranno rispettare i seguenti requisiti:

- La rigidità all'interno di qualunque tipo di transizione dovrà variare gradualmente da quella del sistema meno rigido a quella del più rigido;
- Il collegamento tra gli elementi longitudinali "resistenti" delle 2 barriere deve essere fatto per mezzo di elementi di raccordo inclinati sul piano verticale di non più del 8% (circa 4.6°) e non più di 5° sul piano orizzontale. Si considerano elementi longitudinali "resistenti" la lama principale a tripla onda, l'eventuale lama secondaria sottostante o soprastante la lama principale, ed i profilati aventi funzione strutturale. Non sono considerati elementi

- strutturali "resistenti" i correnti superiori con esclusiva funzione di antiribaltamento (arretrato in modo sostanziale rispetto alla lama sottostante) ed i correnti inferiori pararuota;
- Il produttore dovrà garantire che la transizione proposta sia caratterizzata dalla continuità e dalla graduale variazione di resistenza e di rigidità degli elementi longitudinali "resistenti";
  - tutte le transizioni tra barriere metalliche di diverso tipo dovranno essere ottenute utilizzando i raccordi ed i pezzi speciali di giunzione previsti dal produttore, curando che non rimangano in alcun caso discontinuità tra gli elementi longitudinali che compongono le barriere;
  - l'interruzione di elementi longitudinali secondari nelle zone di transizione dovrà avvenire mediante l'installazione dei terminali previsti dal produttore, avendo cura di arretrare l'elemento stesso rispetto all'allineamento degli elementi longitudinali continui principali, prima della sua interruzione;
  - nel caso particolare di transizioni tra barriere che prevedono il corrente superiore e barriere che non lo prevedono (ove necessario) quest'ultimo dovrà essere raccordato con un pezzo speciale terminale sagomato e vincolato al paletto della barriera senza corrente superiore ubicato al termine della transizione, a tergo della medesima.

## 7.5 Elementi terminali

Qualsiasi interruzione della continuità longitudinale delle barriere esposte al flusso di traffico dovrà essere dotata di un sistema terminale che prevenga, per quanto possibile, l'urto frontale dei veicoli contro la parte iniziale della barriera (terminali semplici).

In linea prioritaria, dovranno essere utilizzati i sistemi terminali previsti dal produttore, a condizione che questi risultino inclinati verso l'esterno dell'arginello. Non dovranno essere utilizzati terminali degradanti a terra che possono andare a configurare una "rampa di lancio" per un eventuale veicolo in svio.

I terminali semplici non sono parte del sistema testato ai sensi della norma EN1317-2 e non devono essere confusi con gli eventuali sistemi di ancoraggio che possono essere presenti durante il crash che, non essendo testati rispetto ad eventuali urti frontali, non garantiscono alcun livello di sicurezza come elementi terminali installati su strada.

In relazione al fatto che il blocco terminale, per quanto deviato verso l'esterno della strada, è costituito dagli stessi elementi longitudinali e dagli stessi montanti della barriera corrente, lo stesso è considerato come parte dello sviluppo di barriera fino all'elemento curvo, come mostrato in Figura 9 dove il punto finale considerato in progetto come "barriera corrente" è evidenziato con una freccia rossa.



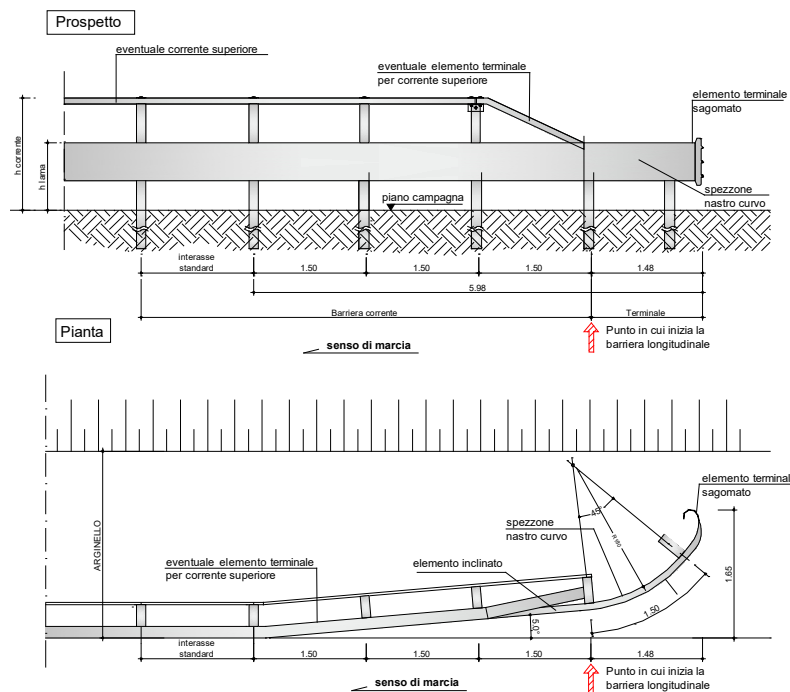


Figura 9: Elemento terminale di avvio in rilevato

Gli elementi terminali di fine (Figura 10) possono essere usati solo come elementi di chiusura delle barriere nella direzione opposta al traffico (nelle carreggiate monodirezionali) o nel caso di fine delle barriere in un accesso privato sulla viabilità interferita (dopo aver deviato le barriere dalla carreggiata della strada ad uso pubblico). In nessun caso dovrà essere previsto un terminale di fine impianto esposto al traffico di uno qualunque dei sensi di marcia ammessi nelle strade ad uso pubblico.



Figura 10: elemento terminale di fine impianto (tradizionale “a manina”)

## 8. SEGNALETICA

Il progetto della segnaletica stradale ha per oggetto la definizione e il posizionamento di tutti gli elementi orizzontali (strisce di delimitazione della carreggiata, delle corsie, ecc.) o verticali (cartelli di pericolo e prescrizione, pannelli laterali o a portale di indicazione) di ausilio agli utenti stradali per una corretta e sicura fruizione del tratto autostradale.

La progettazione della segnaletica è stata redatta in conformità alle normative vigenti riportate al capitolo 2 della presente relazione.

### 8.1 Segnaletica orizzontale

Per quanto concerne la segnaletica orizzontale, è stato previsto:

- strisce continue di margine di larghezza pari a 12 cm;
- strisce continue di separazione delle corsie di marcia di larghezza pari a 12 cm;
- strisce discontinue di separazione delle corsie di marcia di larghezza pari a 12 cm, lunghezza pari a 3,00 m, distanziate di 3,00 m;
- zebraure di incanalamento sulle cuspidi di larghezza pari a 60 cm ad intervalli di 120 cm entro le strisce di raccordo delle corsie di accelerazione e decelerazione.
- frecce direzionali secondo le dimensioni indicate dal regolamento di attuazione del Nuovo Codice della Strada;
- strisce trasversali di arresto di larghezza pari a 40 cm;
- bande rumorose.

### 8.2 Segnaletica verticale

Per quanto concerne la segnaletica verticale, sono stati previsti i cartelli di serie normale. Si hanno pertanto le seguenti dimensioni:

- cartelli triangolari di pericolo di lato pari a 90 cm;
- cartelli di obbligo e divieto circolari di diametro pari a 90 cm;
- cartelli di indicazione per strade extraurbane;
- cartelli di indicazione per strade urbane;
- segnali di preselezione;
- segnali di preavviso.

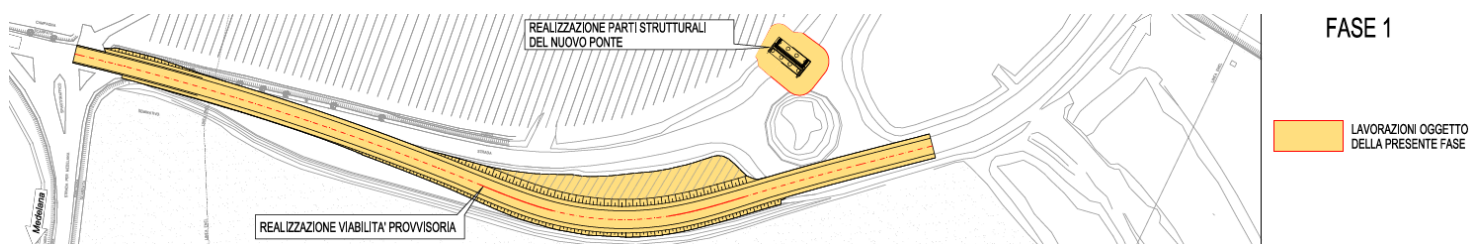
Per l'ubicazione dei cartelli lungo l'intervento si rimanda all'elaborato grafico della planimetria di segnaletica. I particolari costruttivi (quali pozzetti dei pali di sostegno della segnaletica) sono demandati alla accettazione delle condizioni di installazione da parte della Direzione Lavori. L'impresa dovrà pertanto farsi carico della identificazione dei particolari costruttivi tipici del produttore/fornitore di tali elementi.

## 9. FASI REALIZZATIVE

La viabilità di progetto verrà realizzata secondo 5 fasi di seguito descritte.

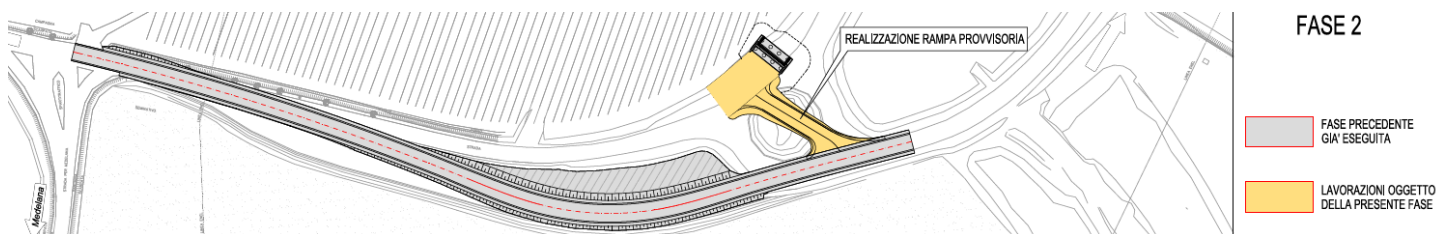
### ➤ **FASE 1**

In tale fase verrà realizzata la viabilità provvisoria da raccordarsi allo stato di fatto. Verrà dismessa la rotonda provvisoria già realizzata in precedenza e la nuova viabilità provvisoria sarà continua, sfrutterà un ramo della stessa per raccordarsi alla viabilità precedentemente realizzata. In questa fase si prevede anche di realizzare la spalla sud del nuovo ponte.



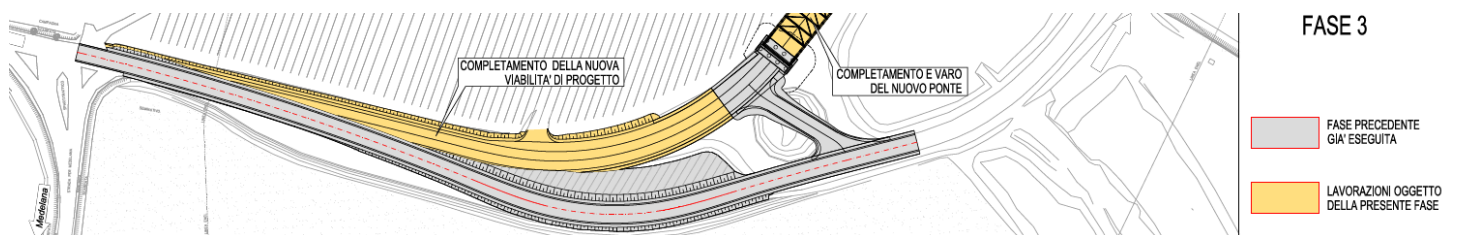
### ➤ **FASE 2**

In fase 2 viene deviato il traffico sulla viabilità provvisoria realizzata in fase 1 e viene realizzata la rampa provvisoria di collegamento tra la viabilità su cui circolerà il traffico e l'area di cantiere per la realizzazione della nuova viabilità e del ponte.



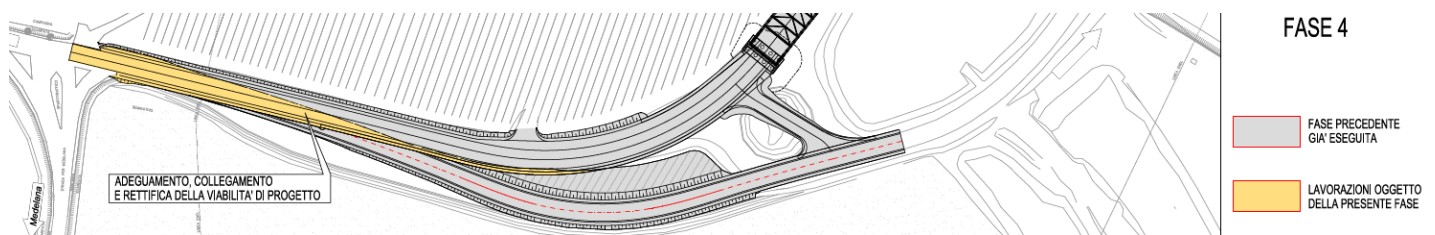
### ➤ **FASE 3**

In tale fase 3 è prevista la realizzazione dei rilevati della nuova viabilità di progetto (tratti a nord e sud del ponte) e del nuovo ponte Final di Rero (spalla nord, elevazioni e impalcato).



➤ **FASE 4**

In fase 4 il traffico è mantenuto sempre sulla viabilità provvisoria e vengono realizzati i tratti di collegamento con l'esistente. Tale lavorazione potrà avvenire nelle ore notturne per evitare interferenze con il traffico veicolare e comunque dovrà essere prevista una parzializzazione delle corsie (eventualmente con senso unico alternato gestito da movieri e da opportuna segnaletica).



➤ **FASE 5**

In questa fase, il traffico viene deviato sulla nuova viabilità completamente realizzata e si prevede la demolizione dei rilevati e della pavimentazione della viabilità provvisoria.

