AMMINISTRAZIONE PROVINCIALE DELL'AQUILA

SETTORE VIABILITA'

Lavori di risanamento ed adeguamento funzionale del "Ponte Rasarolo" lungo la S.R. n.615 di "Monteluco" nel comune dell'Aquila.
Servizi Professionali per l'aggiornamento della Progettazione di Fattibilità Tecnico Economica

PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA

PROGETTAZIONE:

its Engineering Company

Ing. MICHELE TITTON
Ing. GIOVANNI TECCHIO
Ing. TINDARO MASCALI
Ing. MARIO NICOTRA
Ing. SANTI CERRITO

ELABORATO:

PROGETTO STRADALE

RELAZIONE STRADALE

IL PROGETTISTA:
Ing. Michele Titton

ORDINE INGEGNERI PROVINCIA DI TREVISO
W3082
Dott. Ing. MICHELE TITTON

RESP. UNICO DEL PROGETTO:
Arch. Wanda Ilinca Paolini

CODICE PROGETTO	NOME FILE	REVISIONE	SCALA
ID PPM: F17H20004100004	CODICE ELAB.: 260003-PFTE-TRA-RE-01	0	

REV.	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	DATA
0	PRIMA EMISSIONE	JPB	SSN	MTT	12.06.2024

Il presente disegno è di proprietà esclusiva e non può essere riprodotto né consegnato a terzi senza autorizzazione scritta, ex art. 99 Legge 22-4-1941 n.633

Indice

1 PREMESSA 1

2 STATO DI FATTO 2

3 STATO DI PROGETTO 3

4 RIFERIMENTI NORMATIVI 4

5 ANDAMENTO PLANIMETRICO DELL'ASSE 5

5.1 S.R. N. 615 – ASSE SR615 5

5.1.1 Tracciamento planimetrico dell'asse 5

5.1.2 Verifiche planimetriche 5

5.1.3 Diagramma delle velocità 12

5.1.4 Pendenze trasversali 13

5.1.5 Allargamenti 15

6 ANDAMENTO ALTIMETRICO DELL'ASSE 16

6.1 S.R. N. 615 16

6.1.1 Tracciamento altimetrico 16

6.1.2 Verifiche altimetriche 17

7 PAVIMENTAZIONE STRADALE 19

7.1 S.R. N. 615 19

8 DISPOSITIVI DI RITENUTA 23

8.1 SCELTA PROGETTUALE DEI DISPOSITIVI 23

8.1.1 Barriere di sicurezza 23

8.1.2 Transizioni 27

8.1.3 Terminali 27

8.1.4 Attenuatori d'urto 28

8.2 INSERIMENTO DEI DISPOSITIVI NEL CONTESTO 28

9 SEGNALETICA 30

9.1 SEGNALETICA VERTICALE 30

9.2 SEGNALETICA ORIZZONTALE 37

1 PREMESSA

L'Amministrazione provinciale dell'Aquila (Settore Viabilità) ha affidato alla scrivente Società di Ingegneria ITS Srl, con determina n.609 del 19.12.2025, l'incarico per l'aggiornamento della Progettazione di Fattibilità Tecnica ed Economica relativamente ai lavori di "LAVORI DI RISANAMENTO ED ADEGUAMENTO FUNZIONALE DEL "PONTE RASAROLO" LUNGO LA S.R. 615 DI MONTELUCO" - CIG 9 B9AD8DCDAC - CUP F17H20004100004.

La redazione della presente documentazione tecnica si inserisce nel quadro delle attività progettuali previste dal Documento di Indirizzo alla Progettazione e dagli atti tecnico-amministrativi predisposti dalla Stazione Appaltante per l'avvio e lo sviluppo dell'intervento.

Le prestazioni oggetto della presente relazione sono svolte in conformità all'incarico conferito, al relativo disciplinare/contratto di affidamento e alle disposizioni normative vigenti in materia di servizi di ingegneria e architettura, lavori pubblici e sicurezza delle infrastrutture stradali.



Figura 1 - Ponte Rasarolo allo stato attuale

Il presente documento rappresenta la *Relazione stradale* del progetto.

2 STATO DI FATTO

L'area di intervento è localizzata all'inerno del territorio del comune dell'Aquila, nella zona della città della "Porta Napoli", al di fuori delle mura storiche del complesso urbano e lungo la S.R. 615 "di Monteluco".
Da un punto di vista urbanistico, l'area di intervento risulta composta da spazi strutturati dagli edifici, dalla viabilità e da spazzi aperti. Gli edifici, la viabilità e le superfici ricoperte artificialmente occupano il 50% della superficie totale. La vegetazione e il suolo nudo non rappresentano l'eccezione.

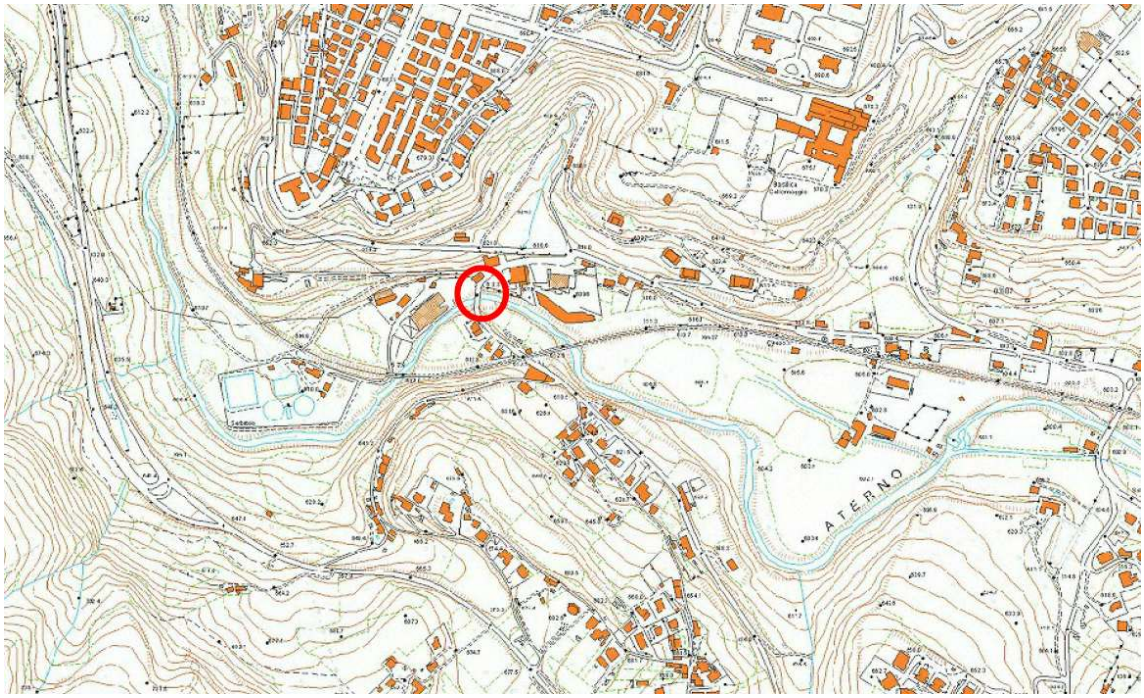


Figura 2 - Inquadramento su CTRN

Gli interventi di progetto hanno lo scopo di migliorare la funzionalità del ponte a livello stradale, in quanto le geometrie attuali determinano spesso difficoltà nel transito, specie nel caso di mezzi pesanti quali camion o autobus, determinando rallentamenti e code.
Il tracciato stradale verrà migliorato aumentando i raggi di curvatura dei tratti di imbocco del ponte, ambo i lati. Il tratto in rettifilo vero e proprio sarà invece eliminato per garantire un adeguato tratto di raccordo tra le due curve. Date le caratteristiche attuali del tracciato non è possibile adeguarsi alla normativa vigente, la quale tuttavia non è vincolante per strade esistenti. Il progetto migliora notevolmente le caratteristiche di transitabilità del Ponte Rasarolo.
La sezione di riferimento è una F2 extrarubana, senza marciapiedi.
Considerata la presenza di vincoli (edificio religioso) sul lato ovest imbocco nord, è stato necessario allargare la strada sul lato est, per evitare di dover interventire sull'edificio stesso.

3 STATO DI PROGETTO

Il presente progetto prevede il rifacimento di parte del ponte Rasarolo, per migliorare la sicurezza attraverso l'incremento dei raggi di curvatura dei raccordi planimetrici e l'inserimento di clotoidi tra le curve esistenti. I vincoli presenti impediscono di inserire gli allargamenti geometrici in curva.
La velocità di progetto, coerente con la segnaletica stradale presente in sito (cartelli di massima 50 km/h), è di 60 km/h.

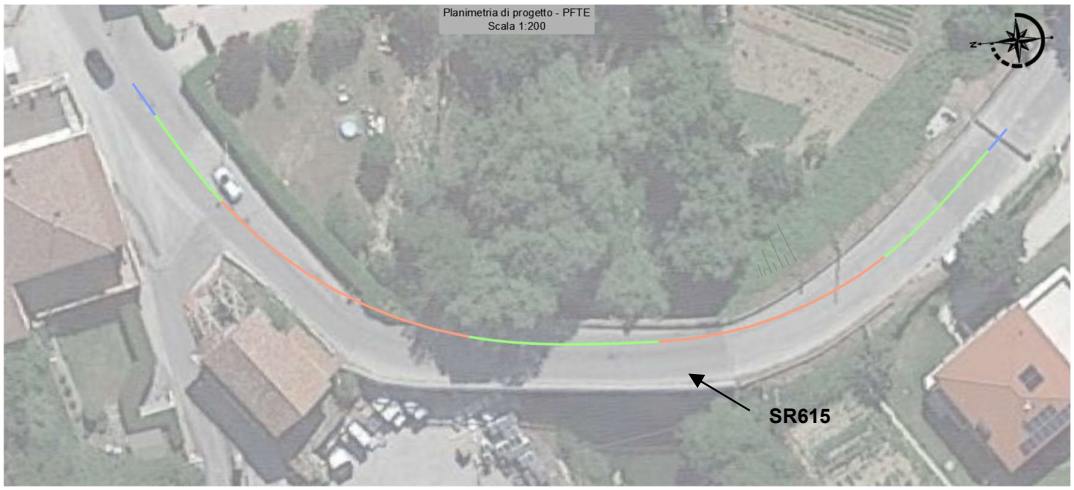


Figura 3: Inquadramento assi di progetto.

L'asse principale oggetto di nuova progettazione è l'asse SR615.



Figura 4: Planimetria di progetto su ortofoto.

Dalla planimetria si nota come il ponte verrà leggermente allargato verso est per permettere di anticipare la curva, facendo un raggio più ampio e con l'elemento di transizione prima della curva. Inoltre, tra la curva di ingresso e la curva di uscita del ponte c'è un unico elemento di transizione a clotoide come previsto dalla normativa.

4 RIFERIMENTI NORMATIVI

Come da prassi nella progettazione stradale, le normative di riferimento sono:

- *D.M. 5.11.2001 recante "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade"*;
- *D.M. 19.04.2006 recante "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali"*.
- *D.Lgs. n. 30.04.1992 n. 285 recante "Nuove codice della strada"* e D.P.R. n. 16.12.1922 n. 495 recante *"Regolamento di esecuzione"*;

Si fa inoltre riferimento al *D.M. 22.04.2004 "Modifica del decreto 5 novembre 2001, n. 6792, recante 'Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade'"*.
La tipologia di piattaforma utilizzata rientra nella categoria F2:

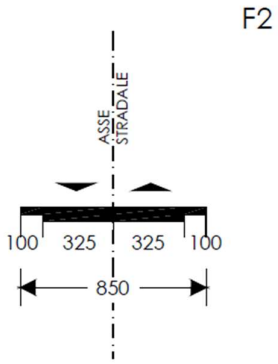


Figura 5: Rappresentazione sezione piattaforma tipo F2 locale exutraurbana.

avente le seguenti caratteristiche principali:

- caratteristiche geometriche:
  - numero delle corsie per senso di marcia: 1;
  - larghezza corsie: 3,25 m;
  - larghezza banchina: 1,00 m;
  - raggio minimo curve circolari: 45 m;
  - pendenza trasversale massima della piattaforma: 7%;
  - pendenza longitudinale massima delle livellette: 10%;
- caratteristiche cinematiche:
  - velocità di progetto minima: 40 km/h;
  - velocità di progetto massima: 100 km/h;
  - limite di velocità: 90 km/h;
- caratteristiche funzionali:
  - livello di servizio: C (1 corsia);
  - portata di servizio per una corsia: 450 veic.equiv./h nell'ipotesi di flussi bilanciati nei due sensi (percentuale di visibilità per il sorpasso al 100%).

5 ANDAMENTO PLANIMETRICO DELL'ASSE

5.1 *S.R. N. 615 – ASSE SR615*

5.1.1 *TRACCIAMENTO PLANIMETRICO DELL'ASSE*

L'asse di collegamento sud della S.R. n. 615 presenta una lunghezza pari a 120,13 m.
La piattaforma stradale presenta caratteristiche conformi con quanto previsto per una strada di tipo F2 locale extraurbana tipizzata dal D.M. n. 6792/2001. Nello specifico, la strada avrà due corsie di 3,25 m e banchine in destra di 1,00 m come da D.M.; nello stato attuale varia da corsie di 3,75 m sul lato nord del ponte e 3,50 m sul lato sud mentre il ponte esistente ha una carreggiata di 6,75 m di larghezza e verrà allargato a 8,50 m per mantenere la larghezza corrispondente alla strada di tipo F2.

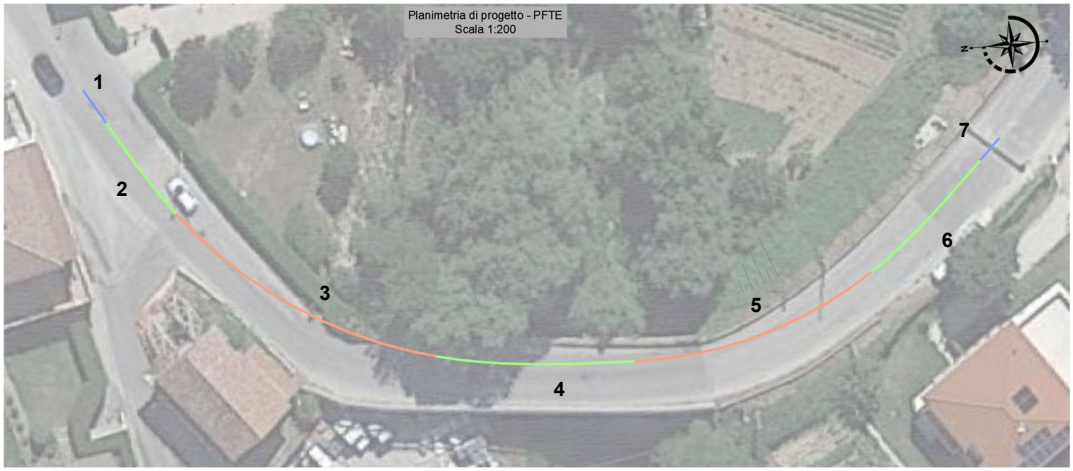


Figura 6: Elementi planimetrici - Asse SR615.

Gli elementi costituenti l'asse di appoggio al lato sud della S.R. n. 615 sono riportati a seguire. Si nota come è stato inserito un elemento di transizione tra i due raccordi circolari.

Tabella 1: Elementi planimetrici - Asse SR615.

N.	Elemento	Progressiva	Sviluppo	Raggio	Angolo iniziale	Angolo finale	Parametro A
1	Rettifilo	0,00	4,46				
2	Clotoide	4,46	12,50		266,39	258,43	25,000
3	Raccordo	16,96	33,00	50,00	258,43	216,41	
4	Clotoide	49,96	21,78		216,41	202,55	33,000
5	Raccordo	71,74	28,13	45,00	202,55	162,75	
6	Clotoide	99,87	17,04		162,75	150,70	27,694
7	Rettifilo	116,91	3,22				

5.1.2 *VERIFICHE PLANIMETRICHE*

Nella redazione del progetto sono state rispettate tutte le prescrizioni riportate nel già citato *D.M. 05.11.2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade"*.
Il tracciato planimetrico è costituito da una successione di elementi geometrici tradizionali, quali rettifili, le curve circolari ed i raccordi a raggio variabile; al fine di garantire una soluzione sicura, confortevole per gli utenti e

soddisfacente dal punto di vista ottico, è necessario adottare per la planimetria e l'altimetria, soluzioni coordinate e compatibili con le velocità di progetto.
Tra due elementi a raggio costante (curve circolari e rettifili) deve essere inserita una curva a raggio variabile, lungo la quale generalmente si ottiene la graduale modifica della piattaforma stradale, cioè della pendenza trasversale, e, ove necessario, della larghezza.
Per maggior chiarezza vengono riportate le principali verifiche che sono state effettuate:

- Rettifili:

  per evitare il superamento delle velocità consentite, la monotonia, la difficile valutazione delle distanze e per ridurre l'abbagliamento nella guida notturna è opportuno che i rettifili abbiano una lunghezza contenuta nel seguente limite:

  $$L_{max} = 22 \cdot v_{p,max}$$

  mentre con riferimento alla lunghezza minima, un rettifilo, per poter essere percepito dall'utente in quanto tale, si considera la velocità massima desunta dal diagramma delle velocità corrispondente:

Tabella 2: Lunghezza minima rettifili.

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

- 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 stessa:

  $$S_{min} = 2.5 \cdot v_{p,max}$$

  dove $v_{p,max}$ è intesa come la velocità di progetto della curva ricavata dagli abachi corrispondenti.
  I rapporti tra i raggi R1 e R2 di due curve circolari che, con l'inserimento di un elemento a curvatura variabile, si succedono lungo il tracciato di strade di tipo A, B, C, D, e F extraurbane, sono regolati dall'abaco sotto riportato:

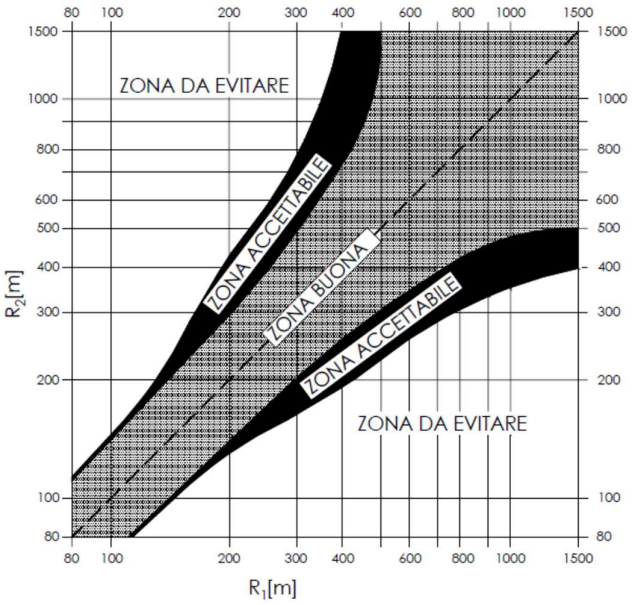


Figura 7: Abaco del rapporto tra curve consecutive.

Il rapporto tra il rettifilo di lunghezza L_R, ed il raggio più piccolo fra quello delle due curve collegate al rettifilo stesso deve essere:

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

Invece per quanto riguarda il raggio minimo per una strada extraurbana secondaria di tipo C2, come detto in precedenza, deve essere di 118 m e per una strada locale di tipo F2 deve essere di 45 m.

– Clotoidi:

La clotoide è data dalla relazione $r \cdot s = A^2$ dove il valore di A deve rispettare:

- criterio dinamico (limitazione del contraccolpo): al fine di ottenere una graduale variazione dell'accelerazione trasversale non compensata nel tempo, deve essere verificata la relazione:

$$A \geq 0.021 \cdot v^2;$$

- criterio costruttivo (sovrapendenza longitudinale delle linee di estremità della carreggiata): nelle sezioni di estremità di un arco di clotoide la carreggiata presenta differenti assetti trasversali, che vanno raccordati longitudinalmente, introducendo una sovrapendenza nelle linee di estremità della carreggiata rispetto alla pendenza dell'asse di rotazione; nel caso in cui il raggio iniziale sia di valore finito (rettilineo o punto di flesso), il parametro deve verificare la seguente disuguaglianza:

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

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

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

- criterio estetico e funzionale (ottico): per garantire la percezione ottica del raccordo deve essere verificata la relazione:

$$A \geq \frac{R}{3}$$

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

$$A \leq R$$

- nel caso di flesso è possibile inserire un rettifilo di lunghezza non superiore a:

$$L = \frac{A_1 + A_2}{12{,}5}$$

I casi più importanti nei quali la clotoide viene inserita in un tracciato sono riassunti nella figura sottostante, dove sono anche indicate le limitazioni per i valori dei parametri e sono anche indicate le situazioni da evitare:

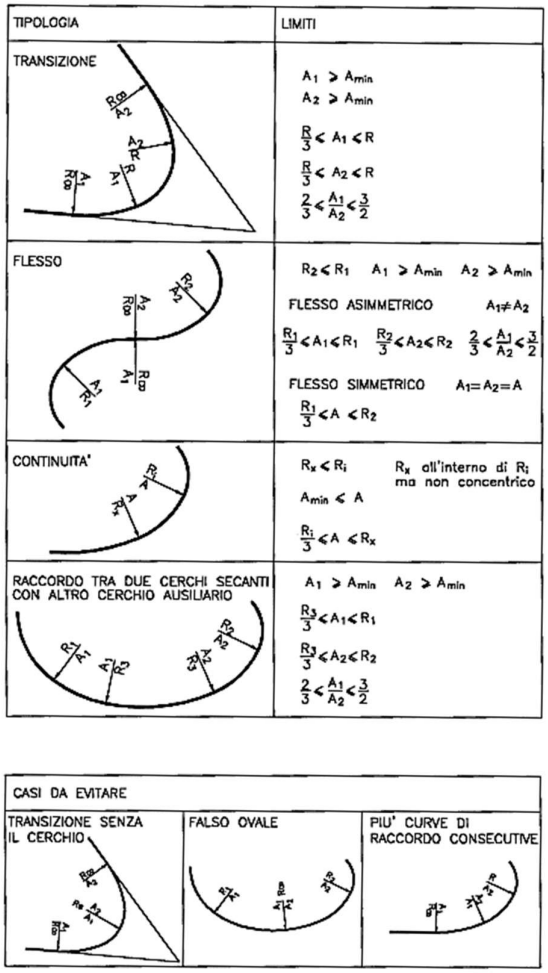


Figura 8: Casi di utilizzo delle clotoidi.

Le verifiche, eseguite mediante il software di progettazione Roads (SierraSoft), sono riportate nell'immagine seguente, dove il segnale verde sta ad indicare il soddisfacimento dei parametri.

Tabella 3: Verifica normativa elementi planimetrici – Asse SR615.

1 Rettifilo - N. 1	Lunghezza: 4,46	Elemento	Riferimento	Velocità
Lunghezza minima		**4,46**	**35,88**	**45,88**
Lunghezza massima		4,46	1009,31	45,88

2 Clotoide - N. 1	Parametro A: 25,000 Lunghezza: 12,50	Elemento	Riferimento	Velocità
Parametro A minimo da limitazione del contraccolpo Formula approssimata		**25,000**	**42,19**	**44,82**
Parametro A minimo da limitazione della pendenza longitudinale dei cigli		25,000	23,75	44,82
Parametro A minimo da criterio ottico		25,000	16,67	
Parametro A massimo da criterio ottico		25,000	50,00	
Rapporto parametri A da criterio ottico		0,758	0,667	
Parametro A minimo da limitazione del contraccolpo Formula esatta		**25,000**	**38,35**	**44,82**

3 Raccordo - N. 1	Raggio: 50,00 Lunghezza: 33,00	Elemento	Riferimento	Velocità
Raggio minimo in funzione della velocità		**50,00**	**118,11**	**60,00**
Lunghezza minima per una corretta percezione		33,00	29,08	41,87
Raggio minimo dal rettifilo precedente		50,00	4,46	

4 Clotoide - N. 2	Parametro A: 33,000 Lunghezza: 21,78	Elemento	Riferimento	Velocità
Parametro A minimo da limitazione del contraccolpo Formula approssimata		**33,000**	**39,94**	**43,61**
Parametro A minimo da limitazione della pendenza longitudinale dei cigli		33,000	6,18	43,61
Parametro A minimo da criterio ottico		33,000	16,67	
Parametro A massimo da criterio ottico		33,000	50,00	
Rapporto parametri A da criterio ottico		1,320	1,500	
Parametro A minimo da limitazione del contraccolpo Formula esatta		**33,000**	**39,43**	**43,61**

5 Raccordo - N. 2	Raggio: 45,00 Lunghezza: 28,13	Elemento	Riferimento	Velocità
Raggio minimo in funzione della velocità		**45,00**	**118,11**	**60,00**
Lunghezza minima per una corretta percezione		28,13	27,77	39,99
Raggio minimo dal rettifilo successivo		45,00	3,22	

6 Clotoide - N. 3	Parametro A: 27,694 Lunghezza: 17,04	Elemento	Riferimento	Velocità
Parametro A minimo da limitazione della pendenza longitudinale dei cigli		**27,694**	**28,47**	**44,15**
Parametro A minimo da criterio ottico		27,694	15,00	
Parametro A massimo da criterio ottico		27,694	45,00	
Rapporto parametri A da criterio ottico		0,839	0,667	
Parametro A minimo da limitazione del contraccolpo Formula esatta		**27,694**	**38,79**	**44,15**

7 Rettifilo - N. 2	Lunghezza: 3,22	Elemento	Riferimento	Velocità
Lunghezza minima		**3,22**	**34,94**	**44,94**
Lunghezza massima		3,22	988,64	44,94

Dalle verifiche si evince come non viene rispettata la lunghezza minima degli elementi numero 1 e 7 di appoggio alla viabilità esistente

Come segnalato nel paragrafo 3 – Stato di progetto, i vincoli presenti impediscono di sviluppare le curve nel rispetto di tutte le prescrizioni normative. A tale riguardo, si segnala quanto scritto nel decreto ministeriale 05.11.2001, al capitolo 1 Definizioni e Riferimenti normativi, in merito alla progettazione di nuove strade in ambito montano.

Le norme di questo testo si riferiscono alla costruzione di tutti i tipi di strade previste dal Codice, con esclusione di quelle di montagna collocate su terreni morfologicamente difficili, per le quali non è generalmente possibile il rispetto dei criteri di progettazione di seguito previsti.

Trattandosi di una strada in ambito montano, con un ponte di attraversamento di un torrente che è vincolato, con delle strutture religiose anch'esse protette, non è possibile adeguare gli elementi stradali a quanto richiesto per una strada F2 di nuova progettazione. Perciò si vede che le curve non rispettano il raggio minimo per la velocità di progetto, e gli elementi di raccordo non rispettano i parametri minimi per limitazione del contraccolpo.

Al fine di mitigare gli effetti delle non conformità alla normativa, si prevedono degli elementi legati alla percezione delle clotoidi e delle curve, attraverso l'inserimento all'interno del progetto della specifica segnaletica di avviso e preavviso.

In corrispondenza degli elementi non verificati, si prevede il posizionamento di delineatori di curva pericolosa (art. 174 del Regolamento del C.d.S.).

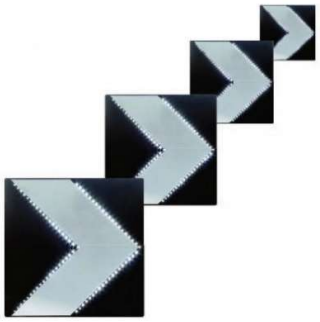


Figura 9: Delineatori di curva pericolosa.

I delineatori modulari di curva sono impiegato in serie di più elementi per evidenziare il lato esterno delle curve stradali di raggio superiore a 30 m. Lo spaziamento longitudinale è variabile in rapporto al raggio della curva e in ogni caso devono essere sempre presenti nel cono visivo del conducente almeno tre delineatori.

Tabella 4: Spaziamento longitudinale dei delineatori modulari di curva in rapporto al valore del raggio planimetrico.

Raggio della curva [m]	**Spaziamento longitudinale [m]**
30-50	8
50-100	12
100-200	20
200-400	30
>400	30-50

Lungo i rettifili, in prossimità delle curve, saranno realizzati dei rallentatori ad effetto ottico. Tali sistemi di rallentamento sono realizzati mediante applicazione in serie di almeno quattro strisce bianche rifrangenti con larghezza crescente nel senso di marcia e distanziamento decrescente. La prima striscia deve avere una larghezza di 20 cm, le successive con incremento di almeno 10 cm di larghezza. I rallentatori saranno realizzati in entrambi i sensi di marcia prima e dopo delle curve.

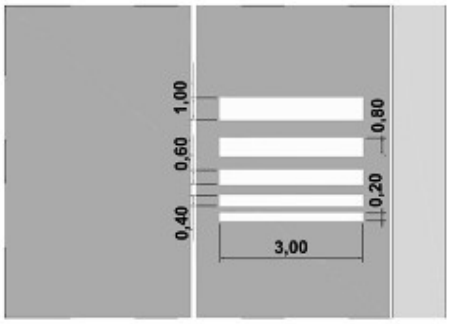


Figura 10:Rallentatori ad effetto ottico.

Infine, per segnalare l'andamento plano-altimetrico del tracciato e risaltare il cambio di direzione, si prevede l'inserimento di delineatori normali di margine in corrispondenza dei dispositivi di ritenuta, come definito dall'art. 173 del C.d.S. Gli elementi rifrangenti possono essere inseriti nell'onda del nastro della barriera ad un'altezza paragonabile a quella dei delineatori normali. Al fine di aumentare l'effetto ottico si prevede di posizionare gli elementi rifrangenti ad una distanza di una classe inferiore rispetto al range di appartenenza del raggio planimetrico (ad esempio, per un raggio di 75 m si posizionano i delineatori ad una distanza di 8 m). Tali delineatori fungono da guida per gli utenti non abituali, aumentando la percezione dell'andamento plano-altimetrico del tracciato.



Figura 11: Delineatori normali di margine sul nastro del dispositivo di ritenuta.

Tabella 5: Spaziamento longitudinale dei delineatori normali di margine in rapporto al valore del raggio planimetrico.

Raggio della curva [m]	**Spaziamento longitudinale [m]**
<30	6
30-50	8
50-100	12
100-200	20
200-400	30
>400	Intervallo adottato in rettilineo.

5.1.3 *DIAGRAMMA DELLE VELOCITÀ*

Viene di seguito riportato il diagramma delle velocità per il tracciato in esame:

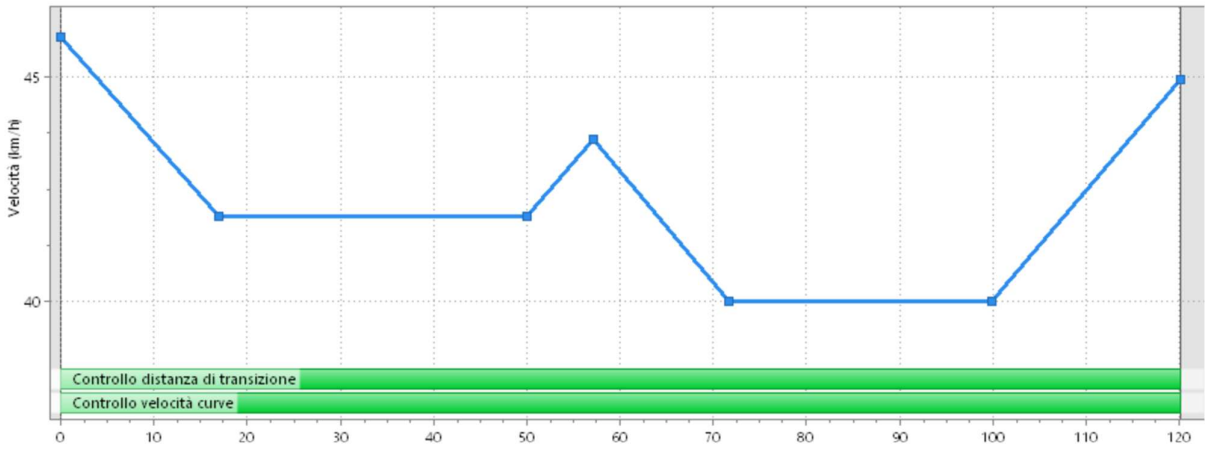


Figura 12: Diagramma delle velocità – Asse SR615.

È stata adottata una velocità di progetto di 60 km/h lungo tutto il percorso. Sebbene i raggi dei raccordi orizzontali permettano velocità di progetto inferiori, per i motivi sopra esplicitati si mantiene una velocità massima di percorrenza di 50 km/h come da segnaletica stradale presente in sito, con le misure di mitigazione citate nel paragrafo precedente.
Il diagramma delle velocità è la rappresentazione grafica dell'andamento della velocità a flusso libero in funzione della progressiva dell'asse stradale, sulla base del solo tracciato planimetrico. Sono fissate le seguenti ipotesi:

- il valore delle accelerazioni e decelerazioni è fisso e pari a $0.8\ m/s^2$;
- le pendenze longitudinali non influenzano la velocità di progetto;
- velocità costante lungo le curve circolari;
- la velocità lungo gli archi tende al limite superiore dell'intervallo $v_{p,max}$; in particolare per la situazione in oggetto viene posta la velocità minima di progetto nel punto iniziale ed in quello finale del tracciato.

Sotto queste ipotesi è facilmente determinabile la velocità lungo i rettifili e lungo le curve circolari, mentre per la ricostruzione del diagramma lungo le clotoidi si calcola la distanza di transizione, cioè la lunghezza necessaria per passare dalla velocità di progetto v_{p1} alla velocità di progetto v_{p2} competenti a due elementi che si succedono, ipotizzando moto uniformemente accelerato:

$$D_T = \frac{\Delta v \cdot v_{media}}{12{,}96 \cdot a}$$

Deve essere inoltre valutata la distanza di riconoscimento, cioè la lunghezza massima del tratto di strada entro il quale il conducente può riconoscere eventuali ostacoli e avvenimenti:

$$D_r = t \cdot v_p$$

dove t viene assunto pari a 12 s.

Analizzando le due relazioni, l'apprezzamento di una variazione di curvatura dell'asse, che consente al conducente di modificare la sua velocità, può avvenire solo all'interno della distanza di riconoscimento e quindi, per garantire la sicurezza della circolazione:

$$D_T \leq D_r$$

ed inoltre perché la variazione di curvatura sia effettivamente percepita deve essere:

$$D_T \leq D_V$$

dove con D_V si indica la distanza di visuale libera nel tratto che precede la curva circolare.

5.1.4 *PENDENZE TRASVERSALI*

Lungo i tratti in rettifilo la carreggiata presenta una doppia pendenza verso l'esterno pari al 2,50%; in curva la pendenza è inclinata verso l'interno e varia tra il -2,5% ed il +2,5%.
In curva la carreggiata è inclinata verso l'interno e la pendenza trasversale è la stessa su tutta la lunghezza dell'arco di cerchio; per la determinazione della pendenza in funzione del raggio della curva è necessario stabilire il legame tra la velocità di progetto della stessa v_p, la pendenza trasversale in curva i_c e la quota parte del coefficiente di aderenza impegnato trasversalmente f_t, il tutto riassunto nella seguente formula:

$$\frac{v_p^2}{R \cdot 127} = q + f_t$$

Per quanto riguarda la quota limite del coefficiente di aderenza impegnabile trasversalmente, valgono i valori tabellari da normativa:

Tabella 6: Coefficiente di aderenza impiegabile in funzione delle velocità.

Velocità km/h	25	40	60	80	100	120	140
Aderenza trasv. max imp. f_{tmax} 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
Aderenza trasv. max imp. f_{tmax} per strade tipo tipo D, E, F urbane, e relative strade di servizio	0,22	0,21	0,20	0,16			

i quali tengono conto, per ragioni di sicurezza, che una quota parte dell'aderenza possa essere impegnata anche longitudinalmente in curva; per velocità intermedie si provvede all'interpolazione lineare.
Per raggi maggiori di R_{min}, finché il raggio è minore di R^* la pendenza trasversale dovrà essere mantenuta costante e pari al valore massimo; la pendenza trasversale del 2,5% deve essere impiegata quando il raggio di curvatura è uguale o maggiore ai valori del raggio $R_{2,5}$ riportati di seguito:

Tabella 7: Valori del raggio R'

Strada tipo	A	B	C F extraurbane	D	E F urbane
$R'\ [m]$	10250	7500	5250	2000	1150

Strada di servizio	A extraurbane	A urbane	B F extraurbane	D
$R'\ [m]$	5250	1150	5250	1150

Per valori del raggio non inferiori a quelli di R' è possibile conservare la sagoma in contropendenza al valore -2,50%.
Lungo le curve a raggio variabile inserite tra un rettifilo ed una curva circolare si realizza il graduale passaggio della pendenza trasversale tra la situazione a doppia pendenza e quella ad unica pendenza verso l'interno della curva, facendo ruotare la carreggiata stradale attorno al proprio asse.
Tale passaggio avviene generalmente in due tempi: in una prima fase ruota soltanto la falda esterna intorno all'asse della carreggiata fino a realizzare una superficie piana, successivamente ruota l'intera carreggiata.
Per ragioni dinamiche la sovrapendenza longitudinale Δi delle estremità della carreggiata non può superare il valore massimo che si calcola con la seguente espressione:

$$\Delta i_{max} = 18 \cdot \frac{B_i}{v}$$

dove B_i è la distanza fra l'asse di rotazione e l'estremità della carreggiata all'inizio della curva a raggio variabile.
Quando lungo una curva a raggio variabile la pendenza trasversale della carreggiata cambia segno, allo scopo di ridurre al minimo la lunghezza del tratto di strada in cui può aversi ristagno di acqua, è necessario che la pendenza longitudinale dell'estremità che si solleva sia non inferiore ad un valore minimo dato da:

$$\Delta i_{min} = 0{,}1 \cdot B_i$$

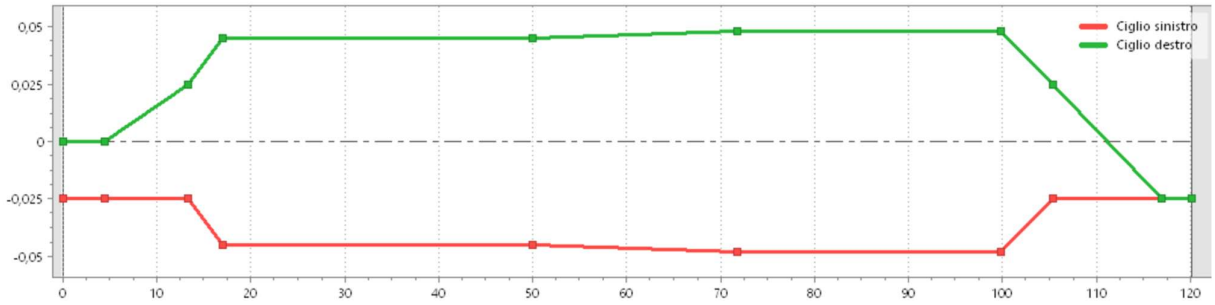


Figura 13: Andamento delle sopraelevazioni – Asse SR615.

Lungo le curve a raggio variabile (clotoidi), inserite fra due elementi di tracciato a curvatura costante (raccordi circolari e rettifili) si realizza il graduale passaggio della pendenza trasversale dal valore proprio di un elemento a quello relativo al successivo; questo passaggio si ottiene facendo ruotare la carreggiata stradale, o parte di essa, attorno al suo asse (tipologia A della figura 13).

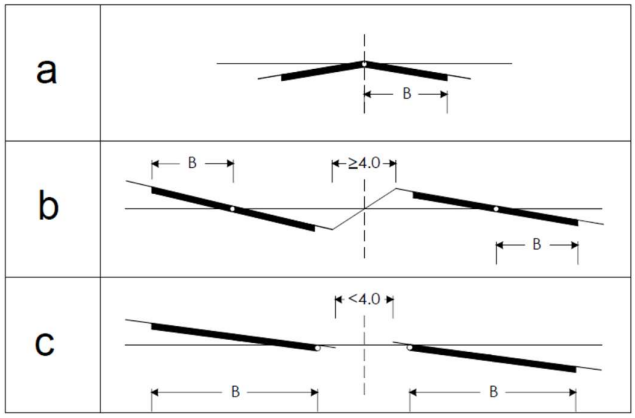


Figura 14: Tipologia di rotazione della piattaforma secondo il D.M. n. 6792/2001.

Per il nuovo collegamento viario dell'asse SR615 si ha una pendenza trasversale massima pari a 4,80%.

5.1.5 *ALLARGAMENTI*

Per 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 venga allargata di una quantità E, data dalla relazione:

$$E = \frac{45}{R}$$

Per $R > 40$ m si può assumere, nel caso di strade a unica carreggiata a due corsie, il valore del raggio uguale a quello dell'asse della carreggiata; se l'allargamento E, così calcolato, è inferiore a 20 cm la corsia conserva la larghezza del rettifilo.

Il valore così determinato potrà essere opportunamente ridotto, al massimo fino alla metà, qualora si ritenga poco probabile l'incrocio in curva di due veicoli appartenenti ai seguenti tipi: autobus ed autocarri di grosse dimensioni, autotreni ed autoarticolati.

L'allargamento complessivo della carreggiata E_t sarà pari alla somma degli allargamenti delle singole corsie e dovrà essere riportato tutto sul lato interno della curva; tale allargamento dovrà partire 7,5 m prima dell'inizio della curva di raccordo e terminerà 7,5 m dopo il punto finale del raccordo.

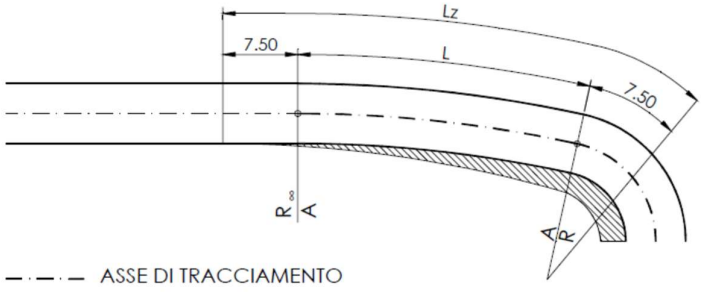


Figura 15: Allargamento geometrico delle corsie di marcia.

Non trattandosi di nuova progettazione ma di un intervento solo mirato a migliorare le condizioni di sicurezza esistenti, e dovuto al fatto che i vincoli esistenti impediscono di allargare ulteriormente la strada, non si progettano gli allargamenti geometrici richiesti dai raccordi circolari (1,80 m per la prima curva e 2,00 m per la seconda). Si considera a vantaggio della sicurezza che la velocità di progetto è inferiore a quella dettata dai raccordi circolari, essendo limitata infatti dal contraccolpo nell'elemento di transizione.

6 ANDAMENTO ALTIMETRICO DELL'ASSE

6.1 *S.R. N. 615*

6.1.1 *TRACCIAMENTO ALTIMETRICO*

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

L'andamento altimetrico dell'asse si sviluppa tra la quota 610,33 m s.l.m.m. alla progressiva 0+000,00 e la quota 610,23 m s.l.m.m alla progressiva 0+120,13. La quota minima del profilo è pari a 610,23 m s.l.m.m. Il dislivello tra i due punti di inizio e fine del tracciato è di 0,10 m. Il ponte si trova su una unica livelletta a quota constante pari a 610,74 m s.l.m.m..

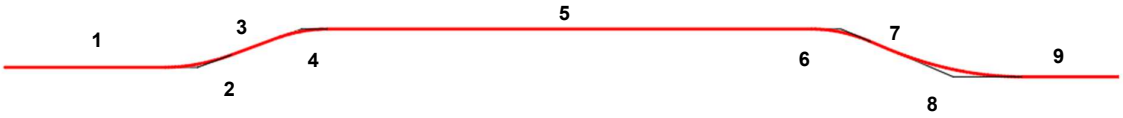


Figura 16: Elementi altimetrici - Asse SR615.

Dalla sopra sfigura si nota la configurazione dell'asse principale caratterizzato da una sacca (raccordo concavo) e un dosso (raccordo convesso) prima di arrivare al ponte, e un dosso e una saca che consentono il raccordo tra il tratto discendente del ponte verso la S. R. n. 615.

A seguire si riportano le caratteristiche degli elementi costituenti l'andamento altimetrico dell'asse.

Tabella 8: Elementi altimetrici - Asse SR615

1 Livelletta - N. 1			
P1:	0,00	Pv1:	
Q1:	610,33	Qv1:	
P2:	17,19	Pv2:	20,86
Q2:	610,33	Qv2:	610,33
Progressiva:	0,00	Differenza di quota:	0,00
Sviluppo:	17,19	Pendenza:	0,00

2 Parabola altimetrica - N. 1			
P1:	17,19	Pv:	20,86
Q1:	610,33	Qv:	610,33
P2:	24,54		
Q2:	610,47	Raggio:	200,00
Progressiva:	17,19	Pendenza iniziale:	0,00
Sviluppo:	7,35	Pendenza finale:	0,04

3 Livelletta - N. 2			
P1:	24,54	Pv1:	20,86
Q1:	610,47	Qv1:	610,33
P2:	29,28	Pv2:	32,04
Q2:	610,64	Qv2:	610,74
Progressiva:	24,54	Differenza di quota:	0,17
Sviluppo:	4,75	Pendenza:	0,04

4 Parabola altimetrica - N. 2			
P1:	29,28	Pv:	32,04
Q1:	610,64	Qv:	610,74
P2:	34,80		
Q2:	610,74	Raggio:	150,00
Progressiva:	29,28	Pendenza iniziale:	0,04
Sviluppo:	5,52	Pendenza finale:	0,00

5 Livelletta - N. 3			
P1:	34,80	Pv1:	32,04
Q1:	610,74	Qv1:	610,74
P2:	87,06	Pv2:	90,25
Q2:	610,74	Qv2:	610,74
Progressiva:	34,80	Differenza di quota:	0,00
Sviluppo:	52,27	Pendenza:	0,00

6 Parabola altimetrica - N. 3			
P1:	87,06	Pv:	90,25
Q1:	610,74	Qv:	610,74
P2:	93,43		
Q2:	610,61	Raggio:	150,00
Progressiva:	87,06	Pendenza iniziale:	0,00
Sviluppo:	6,37	Pendenza finale:	-0,04

7 Livelletta - N. 4				8 Parabola altimetrica - N. 4			
P1:	93,43	Pv1:	90,25	P1:	94,89	Pv:	102,32
Q1:	610,61	Qv1:	610,74	Q1:	610,54	Qv:	610,23
P2:	94,89	Pv2:	102,32	P2:	109,74		
Q2:	610,54	Qv2:	610,23	Q2:	610,23	Raggio:	350,00
Progressiva:	93,43	Differenza di quota:	-0,06	Progressiva:	94,89	Pendenza iniziale:	-0,04
Sviluppo:	1,46	Pendenza:	-0,04	Sviluppo:	14,86	Pendenza finale:	0,00

9 Livelletta - N. 5			
P1:	109,74	Pv1:	102,32
Q1:	610,23	Qv1:	610,23
P2:	120,13	Pv2:	
Q2:	610,23	Qv2:	
Progressiva:	109,74	Differenza di quota:	0,00
Sviluppo:	10,38	Pendenza:	0,00

6.1.2 *VERIFICHE ALTIMETRICHE*

La pendenza massima adottabile per la strada di categoria C2 risulta essere pari al 7%, mentre l'arco di parabola quadratica ad asse verticale che costituisce il raccordo viene calcolato mediante la seguente espressione:

$$L = R_v \cdot \frac{\Delta i}{100}$$

dove R_v è il raggio del cerchio osculatore nel vertice della parabola.
Per maggiore completezza vengono riportate le principali verifiche eseguite lungo il profilo longitudinale della nuova variante:

- Nessuna parte del veicolo (eccetto le ruote) deve avere contatti con la superficie stradale:
  - nei dossi: $R_v \geq 20m$;
  - nelle sacche: $R_v \geq 40m$.
- Per il comfort dell'utenza l'accelerazione verticale non deve superare il valore limite:

$$a_v = \frac{v_p^2}{R_v} \leq 0{,}6\ m/s^2$$

- Devono essere garantite le visuali libere.
- Raccordi verticali convessi (dossi):
  - se la distanza di visibilità da realizzare D è inferiore allo sviluppo L del raccordo:

$$R_v = \frac{D^2}{3{,}7266}$$

  - se $D > L$:

$$R_v = \frac{200}{\Delta i} \cdot \left(D - \frac{186{,}3325}{\Delta i}\right)$$

- Raccordi verticali concavi (sacche):
  - se $D < L$:

$$R_v = \frac{D^2}{2 \cdot (0{,}5 + D \cdot \sin 1)}$$

  - se $D > L$:

$$R_v = \frac{200}{\Delta i} \cdot \left[D - \frac{100}{\Delta i} \cdot (0{,}5 + D \cdot \sin 1)\right]$$

Tabella 9: Verifica normativa elementi altimetrici - Asse SR615

1 Livelletta - N. 1 **Pendenza: 0,00 v/h**	Elemento	Riferimento	Velocità
Pendenza massima	0,00 v/h	0,10 v/h	
2 Parabola altimetrica - N. 1 **Raggio: 200,00 m Lunghezza: 7,35 m**	Elemento	Riferimento	Velocità
Raggio minimo per evitare il contatto con la superficie	200,00 m	40,00 m	
Raggio minimo comfort accelerazione verticale	**200,00 m**	**225,46 m**	**41,87 km/h**
Raggio minimo da visibilità (con Distanza di arresto)	**200,00 m**	**512,51 m**	**41,87 km/h**
3 Livelletta - N. 2 **Pendenza: 0,04 v/h**	Elemento	Riferimento	Velocità
Pendenza massima	0,04 v/h	0,10 v/h	
4 Parabola altimetrica - N. 2 **Raggio: 150,00 m Lunghezza: 5,52 m**	Elemento	Riferimento	Velocità
Raggio minimo per evitare il contatto con la superficie	150,00 m	20,00 m	
Raggio minimo comfort accelerazione verticale	**150,00 m**	**225,46 m**	**41,87 km/h**
Raggio minimo da visibilità (con Distanza di arresto)	150,00 m	0,00 m	41,87 km/h
5 Livelletta - N. 3 **Pendenza: 0,00 v/h**	Elemento	Riferimento	Velocità
Pendenza massima	0,00 v/h	0,10 v/h	
6 Parabola altimetrica - N. 3 **Raggio: 150,00 m Lunghezza: 6,37 m**	Elemento	Riferimento	Velocità
Raggio minimo per evitare il contatto con la superficie	150,00 m	20,00 m	
Raggio minimo comfort accelerazione verticale	**150,00 m**	**205,67 m**	**39,99 km/h**
Raggio minimo da visibilità (con Distanza di arresto)	150,00 m	0,00 m	39,99 km/h
7 Livelletta - N. 4 **Pendenza: -0,04 v/h**	Elemento	Riferimento	Velocità
Pendenza massima	0,04 v/h	0,10 v/h	
8 Parabola altimetrica - N. 4 **Raggio: 350,00 m Lunghezza: 14,86 m**	Elemento	Riferimento	Velocità
Raggio minimo per evitare il contatto con la superficie	350,00 m	40,00 m	
Raggio minimo comfort accelerazione verticale	350,00 m	231,23 m	42,40 km/h
Raggio minimo da visibilità (con Distanza di arresto)	**350,00 m**	**682,71 m**	**42,40 km/h**
9 Livelletta - N. 5 **Pendenza: 0,00 v/h**	Elemento	Riferimento	Velocità
Pendenza massima	0,00 v/h	0,10 v/h	

Come si vede nella tabella, gli elementi di raccordo verticale non verificano per la velocità di progetto. Particolare considerazione è stata presa sulla non verifica di visibilità di arresto, con le misure di mitigazione citate nel paragrafo "5.1.2 - Verifiche planimetriche", attraverso dissuasori ottici sulla pavimentazione, segnaletica verticale e delineatori normali di margine in corrispondenza dei dispositivi di ritenuta per preindicare il pericolo ed indurre alla limitazione della velocità.

7 PAVIMENTAZIONE STRADALE

Per la realizzazione dell'intervento stradale viene prevista una sovrastruttura composta da usura, binder, base e fondazione.

Per la scelta del pacchetto da utilizzare è stato effettuato un dimensionamento *ad hoc* attraverso la metodologia di verifica AASHTO utilizzata anche nel *Catalogo delle Pavimentazioni Stradali,* utilizzando cautelativamente i valori previsti lungo strade di similare gerarchia.

Il metodo si basa sul concetto di attitudine al mantenimento nel tempo dell'adeguatezza del servizio (serviceability) attraverso l'elaborazione dell'indice PSI (Present Serviceability Index) sulla base di misure oggettive delle caratteristiche della pavimentazione come regolarità, presenza di fessure e riparazioni, ormaie.

In assenza di dati di traffico si assumerà una percentuale alta di pesanti, del 15% a favore della sicurezza

7.1 *S.R. N. 615*

I dati di input presi in considerazione per il dimensionamento sono:

- Categoria stradale: F;
- TGM [veic/giorno]: 5000;
- Veicoli commerciali [%]: 15,00;
- Giorni di traffico commerciale: 260;
- Vita utile della pavimentazione: 20 anni;
- Tasso di incremento annuo del traffico [%]: 2;
- CBR sottofondo: 9 pari ad un terreno composto da argilla limosa.

Il metodo AASHTO si sviluppa in 7 fasi:

1) Viene determinato il carico di traffico in termini di ESAL (Equivalent Single Axle Load) cioè in assi standard equivalenti da 80 kN. Per procedere al calcolo vengono utilizzati lo spettro di traffico suggerito dal *Catalogo nazionale delle pavimentazioni*, nel caso specifico quello per una strada di categoria C, ed i coefficienti di equivalenza di carico per asse.

Tabella 10: Spettro di traffico per una strada di categoria C.

	Tipo di veicolo															
Tipo di strada	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**
C	0	0	58,8	29,4	0	5,9	0	2,8	0	0	0	0	0,2	0	0	2,9

C	Distribuzione dei carichi per asse in KN												
	10	**15**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**	**80**	**90**	**100**	**110**	**120**	**130**
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	58,8	0	0	58,8	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	29,4	0	0	0	0	29,4	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	5,9	0	0	11,8	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	2,8	0	0	8,4	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0,2	0,6
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	2,9	0	2,9	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	58,8	32,5	8,7	61,7	0	20,2	29,4	0,2	0,6

Tabella 11: Coefficienti di equivalenza di carico per asse.

Carichi asse $[KN]$	C_{eq} $(L/L_{ESAL})^4$
10	0,00024
20	0,00391
30	0,01978
40	0,06250
50	0,15259
60	0,31641
70	0,58618
80	1,00000
90	1,60181
100	2,44141
110	3,57446
120	5,06250
130	6,97290

Da quanto esposto è possibile calcolare il carico di traffico per asse $ESAL_{passes}$:

Tabella 12: Calcolo dei carichi per asse.

Carichi asse [KN]	10	15	20	30	40	50	60	80	90	100	110	120	130	Totale
$C_{eq}=(L/L_{ESAL})^4$	0,0002	0,00208	0,0039	0,0198	0,063	0,15259	0,31641	1	1,6018	2,44141	3,57446	5,063	6,9729	
$ESAL_{passes}$	0	0	0	0	3,675	4,95918	2,75277	61,7	0	49,31648	105,08912	1,013	4,1837	232,688788

Successivamente si calcola il TGM commerciale, prima in termini di veicoli/giorno, poi lo si trasforma, mediante proporzione, in termini di ESAL/giorno:

$$TGM_{commerciale} = TGM \cdot \%veicoli\ commerciali = 750{,}00\ \cdot \frac{veic}{giorno} = 161{,}8650\ ESAL/giorno$$

Ottenuto questo valore si può calcolare il traffico di progetto:

$$ESAL_d = \left(\frac{gg}{anno}\right)_{commerciale} \cdot TGM_{commerciale} \cdot v_c \cdot F \cdot C_e \cdot \frac{(1+r)^n - 1}{r} = 511276{,}1891$$

Essendo C_e la percentuale di veicoli commerciali per senso di marcia (0,5), r il tasso di incremento annuo del traffico e n la vita utile della pavimentazione.

2) Si calcola il modulo resiliente del sottofondo:

$$M_r = 1500 \cdot CBR = 13500\ psi$$

3) Viene scelto il grado di affidabilità del calcolo Z_R, che è il frattile della distribuzione normale standard, ed S_0, cioè la deviazione standard dello scarto fra durata effettiva e durata prevista della pavimentazione; i due termini caratterizzano la *Reliability* del metodo di calcolo con ipotesi di distribuzione normale delle variabili.

   Con riferimento a Z_R viene utilizzata un'affidabilità del 95%, mentre, per quanto riguarda la deviazione standard, questa viene presa pari a 0,5.

Tabella 13: Grado di affidabilità.

Affidabilità (%)	Z_R
90	-1,282
91	-1,340
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,054
99	-2,237
99,9	-3,090
99,99	-3,750

4) Si stabilisce il PSI (Present Serviceability Index) iniziale e finale sulla base di misure oggettive delle caratteristiche della pavimentazione (regolarità, presenza di fessure e riparazioni, profondità ormaie); dato che viene verificato un pacchetto di nuova realizzazione vengono presi rispettivamente i valori di 4,2 e 2,5.
   Il margine di funzionalità disponibile è:
$$\Delta PSI = PSI_i - PSI_f = 1{,}7$$
5) Si ipotizza una tipologia di pavimentazione e si calcola lo Structural Numeber (SN) che rappresenta un indice che esprime la capacità strutturale della pavimentazione.
   L'indice si determina in funzione dello spessore degli strati e della tipologia di materiale per ciascuno di essi:
$$SN = \sum_{i=1}^{n} m_i \cdot a_i \cdot h_i$$
   dove n è il numero degli strati della pavimentazione, m_i è un coefficiente di drenaggio dello strato i-esimo, a_i è un coefficiente di struttura dello strato i-esimo ed h_i è lo spessore dello strato i-esimo.
   Ai fini del dimensionamento viene previsto l'utilizzo del seguente pacchetto di pavimentazione stradale:
   - 4 cm di conglomerato bituminoso per lo strato di usura;
   - 7 cm di conglomerato bituminoso per lo strato di binder;
   - 10 cm di conglomerato bituminoso per lo strato di base;
   - 20 cm di misto stabilizzato per lo strato di fondazione.

Tabella 14: Valori di a in funzione del materiale.

Materiale	Coefficiente a
Misto granulare	0,11
Misto granulare con frantumato	0,13 – 0,14
Misto bitumato	0,20 – 0,22
Conglomerato bituminoso per base	0,25 – 0,30
Misto cementato	0,25 – 0,30
Conglomerato bituminoso per collegamento	0,36 – 0,40
Conglomerato bituminoso per usura	0,40 – 0,44

   Considerando un valore pari a 1 per m_i degli strati legati il valore di SN risulta:
$$SN = 11{,}33\ cm = 3{,}3884\ in$$
6) Viene calcolata la perdita di serviceability dovuta al traffico, cioè il numero di ESAL che la pavimentazione di progetto è in grado di sopportare, attraverso la seguente formulazione:

$$log_{10}(W_{18}) = Z_R \cdot S_0 + 9{,}36 \cdot log_{10}(SN+1) - 0{,}2 + \frac{log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4{,}2-1{,}5}\right)}{0{,}4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5{,}19}}} + 2{,}32 \cdot log_{10}(M_R) - 8{,}07$$

dalla quale si ottiene un valore di:

$$ESAL_p = 1.907.524{,}4260$$

7) Analizzando i risultati:

$$ESAL_p = 1.907.524{,}4260 > 511.276{,}1891 = ESAL_d$$

la capacità portante della pavimentazione risulta essere ampiamente superiore del danno inflitto dal traffico nel corso della sua vita utile, perciò l'utilizzo di tale pacchetto, oltre a garantire durata e sicurezza, permette di resistere ad eventuali aumenti di traffico nel corso degli anni.

8 DISPOSITIVI DI RITENUTA

8.1 *SCELTA PROGETTUALE DEI DISPOSITIVI*

Al fine di garantire la sicurezza passiva degli utenti della strada, si prevede l'ubicazione di dispositivi di ritenuta stradali che rispettano le seguenti normative:

- europea: *UNI EN 1317 "Barriere di sicurezza stradali"* e successive modifiche ed integrazioni;
- normativa italiana:
  - *Circolare 11.07.1987 n. 2337* recante *"Provvedimenti per la sicurezza stradale. Barriere stradali. Specifica per l'impiego delle barriere in acciaio";*
  - *D.M. 18.02.1992 n. 223* recante *"Regolamento recante istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza";*
  - *D.M. 03.06.1998* recante *"Ulteriore aggiornamento delle istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza e delle prescrizioni tecniche per le prove ai fini dell'omologazione";*
  - *D.M. 11.06.1999* recante *"Istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza";*
  - *D.M. 21.06.2004 n. 2367* recante *"Aggiornamento delle istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza";*
  - *Direttiva Ministeriale 25.08.2004 n. 3065* recante *"Direttiva sui criteri di progettazione, installazione, verifica e manutenzione dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali";*
  - *Circolare 21.07.2010 n. 62032* recante *"Uniforme applicazione delle norme in materia di progettazione, omologazione e impiego dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali";*
  - *D.M. 28.06.2011* recante *"Disposizioni sull'uso e l'installazione dei dispositivi di ritenuta stradale".*

8.1.1 *BARRIERE DI SICUREZZA*

Le barriere di sicurezza possono essere installate:

- sul bordo laterale (esterno o interno);
- nello spartitraffico (ove presente);
- sulle opere d'arte (ponti, viadotti, etc.);
- a protezione di punti singolari, ove esistono elementi esterni potenzialmente pericolosi per il veicolo in svio o per i suoi occupanti.

Le barriere installate sul bordo laterale hanno la finalità di mitigare la pericolosità determinata dalla combinazione tra la pendenza della scarpata e il dislivello tra il piano stradale e il terreno naturale.
Le barriere installate nello spartitraffico sono impiegate dove è richiesta la separazione fisica dei flussi veicolari.
Le barriere installate su opere d'arte devono abbattere i pericoli derivanti dal superamento delle barriere da parte di veicoli in corrispondenza di forti dislivelli tra il piano viabile e il piano dell'elemento scavalcato.
Le barriere nei punti singolari costituiscono dispositivi di sicurezza opportunamente studiati e testati per la protezione di punti critici interni al margine stradale quali ostacoli frontali o laterali, cuspidi, pile di ponti, pali di illuminazione o esterni alla strada, ma potenzialmente pericolosi quali alberature, pali, edifici o manufatti rigidi in generale.

Le barriere stradali vengono suddivise in 13 livelli di contenimento accorpati in quattro 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/b e L4a/b).

In assenza di dati di traffico e considerando le condizioni di curve a raggio molto basso e la presenza di ostacoli appena prima del ponte (soprattutto in direzione sud), si prende la situazione più penalizzante che è il traffico di tipo III per determinare la tipologia di dispositivi di ritenuta.

Tabella 15: Individuazione del tipo di traffico.

Tipo di traffico	TGM	% Veicoli con massa >3,5 T
I	≤ 1000	Qualsiasi
I	> 1000	≤ 5
II	> 1000	$5 < N \leq 15$
III	> 1000	> 15

Trattandosi di una strada F2 locale extraurbana, per una tipologia di traffico di tipo III è richiesta l'installazione di barriere bordo ponte di classe H2 e bordo laterale classe H1.

Tabella 16: Scelta della classe minima di contenimento.

Tipo di strada	Tipo di traffico	Barriere spartitraffico	Barriere bordo laterale	Barriere bordo ponte (1)
Autostrade (A) e strade extraurbane principali (B)	I	H2	H1	H2
	II	H3	H2	H3
	III	H3-H4 (2)	H2-H3 (2)	H3-H4 (2)
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

(1) Per ponti e viadotti si intendono opere di luce superiore a 10 metri; per luci minori sono equiparate al bordo laterale
(2) La scelta tra le due classi sarà determinata dal progettista.

Le barriere di sicurezza sono soggette ad azioni esterne nel momento in cui un veicolo in svio le urta con una certa velocità e un certo angolo di impatto. Durante l'evento si verificano azioni che provocano trasferimenti di energie sotto varie fome che coinvolgono il veicolo, la barriera e il suo supporto. L'entità di tali azioni dipende dalle condizioni in gioco e l'entità dell'evento può essere misurata mediante il rilievo delle deformazioni plastiche degli elementi coinvolti e lo spazio percorso dal veicolo dopo il primo impatto. Le differenze che contraddistinguono i veicoli leggeri da quelli pesanti e le conseguenze che questi hanno sull'evento incidentale, implicano che il progetto di una barriera di sicurezza costituisca un compito non facile dovendo, nello stesso tempo, rispondere alle esigenze di invalicabilità nel caso in cui a impattare sia un veicolo pesante oppure alle esigenze di deformabilità nel caso in cui sia un veicolo leggero.

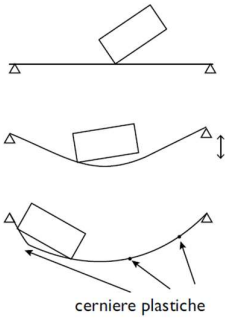


Figura 17: Schema di funzionamento delle barriere stradali installate su montanti.

Occorre dunque, che la barriera sia in grado di contenere i veicoli pesanti in maniera che non si abbia ribaltamento, scavalcamento o superamento per rottura e inoltre sia in grado di minimizzare la severità dell'urto dei veicoli leggeri.
Tra i parametri relativi agli spostamenti trasversali degli elementi della barriera e del veicolo si ricorda:

- la deflessione dinamica D_m: massimo spostamento dinamico trasversale del fronte del sistema di contenimento;
- la larghezza operativa W_m: distanza tra la posizione iniziale del fronte del sistema di contenimento e la massima posizione dinamica laterale di qualsiasi componente principale del sistema;

Tabella 17: Classe di larghezza operativa normalizzata.

Classi con larghezza operativa normalizzata	Livelli di larghezza operativa normalizzata
W_1	$W_m \leq 0{,}6$ m
W_2	$W_m \leq 0{,}8$ m
W_3	$W_m \leq 1{,}0$ m
W_4	$W_m \leq 1{,}3$ m
W_5	$W_m \leq 1{,}7$ m
W_6	$W_m \leq 2{,}1$ m
W_7	$W_m \leq 2{,}5$ m
W_8	$W_m \leq 3{,}5$ m

- l'intrusione del veicolo VI_m: distanza tra la posizione del fronte lato strada della barriera di sicurezza e la massima posizione dinamica laterale di qualsiasi componente principale del veicolo.

Tabella 18: Classe d'intrusione normalizzata.

Classi di intrusione veicolo normalizzati	Livelli di intrusione veicolo normalizzati
I_1	$VI_m \leq 0{,}6$ m
I_2	$VI_m \leq 0{,}8$ m
I_3	$VI_m \leq 1{,}0$ m
I_4	$VI_m \leq 1{,}3$ m
I_5	$VI_m \leq 1{,}7$ m
I_6	$VI_m \leq 2{,}1$ m
I_7	$VI_m \leq 2{,}5$ m
I_8	$VI_m \leq 3{,}5$ m
I_9	$VI_m > 3{,}5$ m

I valori di questi parametri consentono di determinare le condizioni progettuali per l'installazione, nonché definire le distanze da mantenere dagli ostacoli per permettere al sistema di fornire prestazioni soddisfacenti.

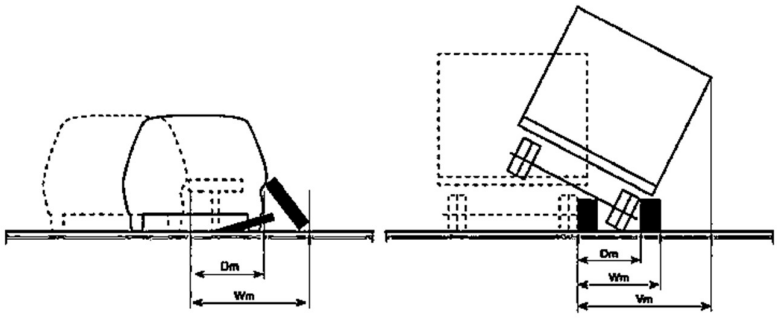


Figura 18: Schematizzazione della deflessione dinamica, della larghezza operativa e dell'intrusione del veicolo.

Le barriere tipo H2, secondo UNI EN 1317-2:2010, devono essere sottoposte a prova d'urto numero TB51 e TB11. La prova TB11 prevede il lancio di un'automobile di massa totale pari a 900 kg con un una velocità di 100 km/h e con un angolo d'urto di 20 gradi. La prova TB51 prevede il lancio di un autobus di massa totale pari a 13'000 kg con una velocità di 70 km/h con un angolo d'urto di 20 gradi.
Per le automobili devono essere determinati gli indici di valutazione della severità dell'urto per l'occupante del veicolo: ASI (Acceleration Severity Index – livello di accelerazione subito dagli occupanti del veicolo, considerati seduti, con cinture di sicurezza) e THIV (Theoretical Head Impact Velocity – velocità teorica con cui la testa impatta su un'ipotetica superficie interna del veicolo alla fine del tempo di volo). In rapporto al valore dei parametri ASI e THIV si determina il livello di severità dell'urto.

Tabella 19: Livelli di severità dell'urto.

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).		

I sopracitati Decreti-legge prevedono la verifica dello spazio sub-orizzontale del margine esterno per le barriere Bordo Laterale (distanza tra il fronte della barriera esposto al traffico ed il vertice della scarpata) ovvero lo spazio necessario per garantire la stabilità del veicolo in svio deve essere almeno pari alla deflessione dinamica massima della barriera ridotta di 70 cm per le prove con veicoli pesanti.
Per effettuare tale verifica è necessario possedere la deflessione dinamica del sistema D_m ottenuta a seguito delle prove di crash test e differente per ciascuna barriera a seconda della casa produttrice; ai fini della scelta della barriera viene fatto riferimento alla larghezza operativa W_m (parametro assimilabile in fase preliminare), dunque si prevede l'utilizzo di una classe W4 o inferiore per la quale si ottiene:

$$L_{ciglio} = 1{,}3 - 0{,}7 = 0{,}6\ m < 0{,}75\ m$$

ampiamente soddisfatto dalle scelte progettuali in quanto viene prevista la realizzazione di un ciglio avente larghezza di 0,75 m.
Nonostante ciò, è necessario a seguito della scelta della barriera da parte dell'impresa costruttrice in accordo con la committenza, la verifica effettiva con i valori della deflessione dinamica ottenuti dalla certificazione della barriera stessa.

8.1.2 *TRANSIZIONI*

Le transizioni corrispondono ai punti in cui vi è il collegamento tra barriere di classe e tipologia differente. L'elemento di transizione deve essere in grado di consentire il trasferimento delle azioni tra i dispositivi connessi in modo da fornire una variazione graduale di rigidezza nel passaggio dalla prima alla seconda tipologia di barriera. In rapporto al concetto per il quale le prestazioni dell'elemento devono essere intermedie tra quelle dei dispositivi connessi, la classe di contenimento di una transizione non deve essere più bassa della classe di contenimento inferiore né più elevata della classe di contenimento superiore delle barriere collegate.

8.1.3 *TERMINALI*

I terminali corrispondo alla sezione di estremità di una barriera longitudinale e queste sono sottoposte a prove d'urto onde evitare: la penetrazione di quest'ultima all'interno dell'abitacolo del veicolo, la generazione di deformazioni dell'involucro in cui si trovano gli occupanti del mezzo e la produzione di instabilità del veicolo.
I terminali possono essere di tipo semplice se le parti sono configurazioni di estremità che non sono state sottoposte a una validazione specifica ma che possono essere installate su strada poiché facenti parte del progetto originario della barriera longitudinale e applicate alla stessa durante le prove d'urto. Esempi di terminali semplici sono: "a manina", "a tubolare" o a lama inclinata e interrata.
I terminali possono anche essere di tipo speciale se le parti sono configurazioni di estremità che sono state opportunamente progettate e testate, mediante prove d'urto, per essere installate con continuità al termine della barriera longitudinale. Questi ultimi terminali aumentano le condizioni di sicurezza passiva dato che diminuiscono il rischio di lesioni per gli occupanti dei veicoli in caso di impatto.
I terminali speciali vengono testati secondo delle prove d'urto descritte nella UNI CEN/TS 1317-7:2023. Questi dispositivi si differenziano tra loro in rapporto alla velocità d'urto, alla massa del veicolo e alla metodologia di prova (angolo di impatto, offset dall'asse, distanza dal bordo, etc.). La nomenclatura della classe del terminale suggerisce la velocità con cui il terminale stesso viene testato.

Tabella 20: Classe degli attenuatori d'urto speciali secondo la UNI CEN/TS 1317-7:2023.

Categoria terminale	Categoria direzione
T50	UTA (1)
T80/3 (4)	UTA (1)
T80/2 (5)	UTA (1), UTD (2) e BDT (3)
T80/1	UTA (1), UTD (2) e BDT (3)
T80	UTA (1), UTD (2) e BDT (3)
T100/1 (6)	UTA (1), UTD (2) e BDT (3)
T100	UTA (1), UTD (2) e BDT (3)
T110/1 (7)	UTA (1), UTD (2) e BDT (3)
T110	UTA (1), UTD (2) e BDT (3)
(1) terminale unidirezionale in testa (2) terminale unidirezionale in coda (3) terminale bi-direzionale (4) corrispondente al terminale di classe P1, secondo la ENV 1317-4:2001 (5) corrispondente al terminale di classe P2, secondo la ENV 1317-4:2001 (6) corrispondente al terminale di classe P3, secondo la ENV 1317-4:2001 (7) corrispondente al terminale di classe P4, secondo la ENV 1317-4:2001	

Il D.M. n. 2367/2004 determina la classe del terminale da installare in rapporto alla velocità imposta nel sito da proteggere.

Tabella 21: Indicazioni sulla scelta dei terminali.

Classe dei terminali	Velocità imposta nel sito da proteggere
P3	$V \geq 130$ km/h
P2	$90 \leq V < 130$ km/h
P1	$V < 90$ km/h

8.1.4 *ATTENUATORI D'URTO*

Gli attenuatori d'urto sono dei dispositivi installati nei punti in cui si può verificarsi gravi lesioni agli occupanti del veicolo in svio. Tali dispositivi, diversamente dai terminali, sono dei sistemi di ritenuta indipendenti dalle barriere di sicurezza anche se vengono spesso installati assieme. L'attenuatore d'urto deve essere nella condizione di attenuare la decelerazione del veicolo impattante in modo da diminuire l'impatto tra veicolo e dispositivo. Gli attenuatori d'urto si diversificano, come avviene per le barriere di sicurezza, in rapporto alla tipologia e alla classe di severità.
Gli attenuatori vengono definiti cinetici nel caso in cui gli elementi che lo costituiscono si possono comprimere longitudinalmente in modo da assorbire l'energia cinetica del veicolo mentre vengono definiti inerziali nel caso in cui si applica il principio della conservazione della quantità di moto per cui l'energia del veicolo viene trasferita al materiale di elevata massa presente nel dispositivo (acqua o sabbia).
Gli attenuatori possono essere redirettivi se nel caso di urto laterale sono in grado di reindirizzare il veicolo verso la sua traiettoria originaria agendo sugli organi di sospensione e di sterzo mentre possono essere non redirettivi se non sono in grado di controllare l'angolo di deviazione del veicolo.

Tabella 22: Classe degli attenuatori d'urto secondo la UNI EN 1317-3:2010.

Categoria attenuatore d'urto
110
100
80
50

Il D.M. n. 2367/2004 determina la classe dell'attenuatore d'urto da installare in rapporto alla velocità imposta nel sito da proteggere.

Tabella 23: Indicazioni sulla scelta degli attenuatori d'urto.

Classe degli attenuatori	Velocità imposta nel sito da proteggere
100	$V \geq 130$ km/h
80	$90 \leq V < 130$ km/h
50	$V < 90$ km/h

8.2 *INSERIMENTO DEI DISPOSITIVI NEL CONTESTO*

Da quanto sopra citato, viene prevista l'installazione di barriere bordo ponte H2 W4 sul nuovo ponte. Si fa notare che in direzione sud si trovano evidenze di un intervento di ripristino del cordolo del ponte e le barriere sembrano nuove e del tipo prescritto. In tale caso, dopo verifica dello stato delle barriere, si può prevedere lo smontaggio, stoccaggio e montaggio a fine intervento della medesima barriera. Sul lato in direzione nord bisogna installare barriere nuove perché quelle installate non sono conformi a quanto prescritto.
Negli imbocchi del ponte si devono inserire elementi di transizione per poi proseguire con le barriere esistenti bordo laterale. In direzione sud sull'imbocco della Spalla nord, bisogna inserire un elemento terminale semplice.
Per l'ancoraggio delle barriere Bordo Laterale la lunghezza di infissione dei montanti deve essere tale da mantenere la rigidezza prevista dal sistema a seguito delle prove di crash test ed il valore viene indicato dalla casa costruttrice scelta.
A seguire si riportano le indicazioni (che dovranno essere rispettate in fase di esecuzione dei lavori) con riferimento alle tratte di raccordo:

- se la lunghezza dei dispositivi dovrebbe essere minore a quella indicata nella documentazione della marcatura CE, compatibilmente con le condizioni di installazione e con l'effettiva estensione della zona da proteggere, sarà a cura del produttore certificare appositamente le barriere per questo utilizzo;
- la lunghezza di transizione dovrà essere almeno pari a 12,5 volte la differenza tra le deformazioni dinamiche delle due barriere accoppiate;
- la rigidezza 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 due barriere deve essere fatto per mezzo di elementi di raccordo inclinati sul piano verticale di non più dell'8% e non più di 5° sul piano orizzontale;
- 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, 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.

Si ricorda, inoltre, che le zone da proteggere mediante dispositivi di ritenuta sono:

- i margini di tutte le opere d'arte all'aperto quali ponti, viadotti, ponticelli, sovrappassi e muri di sostegno (o analoghe strutture di sostegno subverticali), indipendentemente dalla loro estensione longitudinale e dall'altezza del piano di campagna;
- lo spartitraffico delle strade a carreggiate separate, ove queste ultime sono distanziate meno di 12 m;
- il margine laterale stradale nelle sezioni in rilevato (con diverse indicazioni in relazione all'entità del dislivello tra il colmo dell'arginello e il piano campagna), nonché della combinazione tra la pendenza e l'altezza della scarpata; è anche necessario tener conto delle situazioni di potenziale pericolosità a valle della scarpata, quali per esempio la presenza di edifici, strade, ferrovie, depositi di materiale pericoloso o simili;
- gli ostacoli fissi frontali o laterali, non rimovibili e prossimi alla strada, che potrebbero costituire un pericolo per gli automobilisti in caso di urto (quali, per esempio, pile di ponti, rocce affioranti, opere di drenaggio non attraversabili, alberature, pali di illuminazione e supporti per segnaletica non cedevoli, corsi d'acqua, etc.) e le strutture sensibili (quali edifici pubblici e privati, scuole, ospedali, depositi di carburante, etc.) che in caso di fuoriuscita o urto dei veicoli potrebbero comportare pericolo anche per i non utenti della strada;
- le zone sovra passanti o in affiancamento a ferrovie o ad altre strade (salvo le strade locali aventi carreggiata di limitata ampiezza).

9 SEGNALETICA

Ai fini della sicurezza degli utenti viene prevista l'utilizzazione di una serie di segnali stradali, sia verticali che orizzontali, i quali fanno riferimento al seguente quadro normativo:

- D.Lgs. 30.04.1992 n. 285 recante "*Nuovo Codice della Strada*" (C.d.S.) e successive integrazioni;
- D.P.R. 16.12.1992 n. 495 recante "*Regolamento di esecuzione e di attuazione del nuovo C.d.S.*" e successive integrazioni;
- Direttiva Ministero dei Lavori Pubblici del 24.10.2000 (sulla corretta ed uniforme applicazione delle norme del C.d.S. in materia di segnaletica e criteri per l'installazione e la manutenzione).
- Direttiva Ministero dei Trasporti del 27.04.2006 (sulla corretta ed uniforme applicazione delle norme del Codice della Strada in materia di segnaletica e criteri per l'installazione e la manutenzione).

In particolare, viene fatto riferimento al Titolo II "*Della costruzione e tutela delle strade*", Capo II "*Organizzazione della circolazione e segnaletica stradale*" del D.Lgs. 30/04/1992 n. 285 "*Nuovo Codice della Strada*":

- Art. 37 "*Apposizione e manutenzione della segnaletica stradale*";
- Art. 38 "*Segnaletica stradale*";
- Art. 39 "*Segnali verticali*";
- Art. 40 "*Segnali orizzontali*";
- Art. 41 "*Segnali luminosi*";
- Art. 42 "*Segnali complementari*";
- Art. 43 "*Segnalazione degli agenti del traffico*";
- Art. 44 "*Passaggi a livello*";
- Art. 45 "*Uniformità segnaletica, mezzi di regolazione e controllo ed omologazioni*".

Tutti i segnali previsti dal D.L. 30.04.1992 n. 285 sono soggetti ad omologazione del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, previo accertamento del grado di protezione e delle caratteristiche geometriche, fotometriche, cromatiche e di idoneità indicati nel D.P.R. 16.12.1992 n. 495 ed in specifiche Norme.

9.1 *SEGNALETICA VERTICALE*

La segnaletica verticale si esplica attraverso una serie di pannelli:

- segnali di pericolo: presenza di pericolo specifico e obbligo di comportamento adeguato;
- segnali di prescrizione: obblighi, divieti e limitazioni;
- segnali di indicazione: informazioni utili e/o necessarie per la guida.

La visibilità e la leggibilità della segnaletica verticale si realizza per effetto di un processo definito "meccanica della percezione" che si articola cronologicamente in:

- Individuazione: isolamento del segnale dallo sfondo:
  - analisi del rapporto superficie cartello/categoria strada;
  - la visione migliora quando il segnale si trova al centro del campo visivo (un segnale laterale implica un processo di focalizzazione più complesso e conseguente calo del livello di attenzione momentanea);

- il posizionamento deve avvenire valutando la possibilità di occupazione della sede stradale da parte del veicolo pesante (dimensioni/posizione);
- la posizione migliore è giudicata quella che vede il segnale a circa 1,5 m sulla destra della carreggiata ed a circa 2,4 m al di sopra di essa: in tal modo la lettura può avvenire senza alzare o voltare la testa rispetto all'asse ottimale di guida.

– Identificazione: riconoscimento della forma e dei colori del pannello legata direttamente al contrasto in radianza cioè il rapporto flusso luminoso emesso/rinviato per unità di superficie:
  - ore diurne: visuale d'insieme dell'ambiente – appropriate combinazioni cromatiche e opportuno dimensionamento;
  - ore notturne: illuminazione con l'impianto fari e retroriflessione;
  - il concetto del contrasto garantisce le situazioni migliori: in generale sfondi bianchi sono indicati per installazioni a lato carreggiata e sfondi verdi/blu per installazioni su portali.
– Lettura: discriminazione del messaggio che si desidera trasmettere:
  - i segnali devono contenere soltanto informazioni essenziali;
  - il contrasto tra sfondo e scritte deve essere 8:1 o 10:1;
  - altezza media dei caratteri in funzione della distanza di lettura:
    - di giorno: 2,5 cm/15 m;
    - di notte: 2,5 cm/12,8 m;
  - le migliori combinazioni risultano essere:
    - nero su giallo;
    - nero su bianco;
    - bianco su nero.
– Reazione: manovra effettuata in esito all'analisi mentale del messaggio:
  - tempo di lettura istantaneo stradale: si ipotizza di 1 s;
  - tempo di inizio lettura:
    - segnaletica di posizione: 5 s;
    - pre-segnaletica: 3 s.

L'efficacia della segnaletica verticale è tanto migliore quanto più lungo è l'intervallo di tempo concesso al conducente per reagire agli stimoli; quanto detto viene espresso dal processo di riconoscimento, il quale si distingue in due distanze:

– campo di leggibilità d_l: porzione di spazio che consente la lettura di quanto è scritto sul segnale verticale:

$$d_l = d_{l,max} - d_{l,min}$$

  - $d_{l,max}$: distanza a cui è possibile distinguere il messaggio;
  - $d_{l,min}$: distanza che permette di completare la lettura;
– distanza di avvistamento d_{avv}: spazio privo di ostacoli che deve essere garantito per la corretta visibilità del segnale relativa ad una determinata velocità di percorrenza:

$$d_{avv} = d_p + d_l + d_{at}$$

  - d_p: distanza di percezione;

- d_l: campo di leggibilità;
- d_{at}: distanza di attuazione del comportamento (avvistamento con comportamento sul posto) che risulta nulla nel caso di avvistamento in anticipo.

Nelle strade con più corsie sulla stessa carreggiata, la distanza di avvistamento viene valutata in corrispondenza dell'asse della corsia più penalizzata.

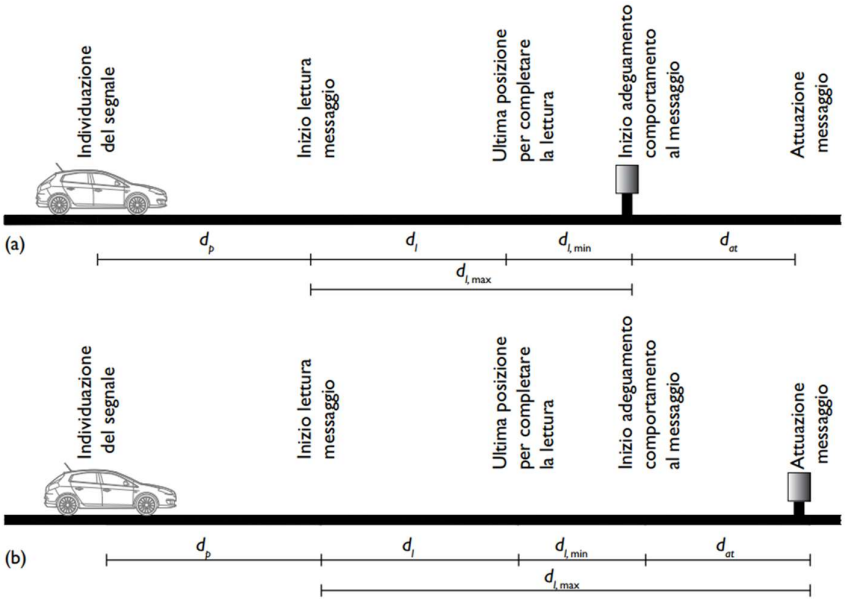


Figura 29: Processo di riconoscimento della segnaletica verticale

Secondo gli Artt. 79 e 81 del D.P.R. 16.12.1992 n. 495, per posizionamento plano-altimetrico dei segnali verticali, si deve verificare in ogni punto la sussistenza delle distanze di avvistamento e di ubicazione.

	Minima distanza di avvistamento [m]	
Categoria di strada	**Segnali di pericolo**	**Segnali di prescrizione**
Autostrade e strade extraurbane principali	150	250
Strade extraurbane secondarie e urbane di scorrimento (aventi velocità superiore a 50 km/h)	100	150
Altre strade	50	80

Figura 30: Distanze di avvistamento dei segnali verticali

Nel caso in cui non fosse possibile soddisfare i requisiti minimi sopra riportati è possibile utilizzare distanze inferiori purché il segnale sia adeguatamente preceduto da un altro identico, munito di idoneo pannello integrativo recante la distanza tra il segnale e il pericolo o la percezione. Anche per i segnali di indicazione la distanza di avvistamento minima a cui essi devono essere collocati è funzione della tipologia di informazione fornita e dalla velocità locale predominante. A seguire si riporta una tabella in cui sono riportate, a titolo di esempio, le prescrizioni suggerite dal CdS per i segnali di preavviso.

Velocità predominante [km/h]	Minima distanza di avvistamento [m]
130	250
110	200
90	170
70	140
50	100

Figura 19: Distanza di avvistamento minima per i segnali di indicazione del tipo "preavviso".

Sulla base di quanto sopra descritto:

- ogni segnale deve essere collocato in modo da ricadere in prossimità della zona centrale del campo visivo del conducente; in tal modo se ne favorisce la messa a fuoco e la lettura;
- ogni segnale deve poter essere compreso in tempo, anche se l'utente viaggia a una velocità pari a quella massima consentita in quel tratto di strada;
- i segnali non devono rappresentare ostacolo alla visibilità per i conducenti;
- la visibilità dei segnali non deve essere ostruita o ridotta da ostacoli naturali e non.

Si aggiunge che i segnali devono essere correttamente percepiti in ogni condizione di illuminazione ed esposizione ambientale. Inoltre, devono essere percepiti nel medesimo modo sia dal traffico diurno sia da quello notturno. La leggibilità diurna è garantita da apposite combinazioni cromatiche e un opportuno dimensionamento di scritte e simboli riportati sulla segnaletica mentre la leggibilità notturna viene garantita mediante l'utilizzo di dispositivi di illuminazione o di materiali rifrangenti. Le pellicole rifrangenti sembrano rappresentare la migliore soluzione per mitigare i fenomeni di abbagliamento connesso all'utilizzo di dispositivi di illuminazione.

Le pellicole rifrangenti possono essere:

- a microsfere incorporate (o di Classe 1), mediante l'utilizzo di un sistema bicomponente nel quale uno strato di microsfere di vetro è inglobato all'interno di una pellicola di plastica trasparente. Il rendimento fotometrico è incrementato da un sottile strato continuo di materiale retroriflettente posto a una distanza corrispondente al fuoco delle microsfere. Il protettivo trasparente determina un'alta durabilità del segnale.
- a microsfere incapsulate (o di Classe 2), mediante l'utilizzo di un singolo strato di microsfere di vetro ammorsate in un supporto in resina. In questa tipologia il materiale riflettente riveste direttamente la superficie inferiore delle sfere. Dato che il protettivo trasparente non incorpora le microsfere ma è ancorato direttamente al supporto sottostante, esse presentano la superficie esposta a contatto diretto con l'aria: in tal modo si garantisce un maggior ingresso di luce.
- a microprismi, mediante l'utilizzo di prismi triedri trirettangoli opportunamente orientati e posti all'interno di uno strato di resina trasparente portante saldato su un apposito supporto. Tale progettazione consente di ottenere maggiori proprietà fotometriche rispetto alle precedenti tecnologie.

Per determinare le caratteristiche di retroriflessione ci si basa sul coefficiente di retroriflessione R_A che è direttamente correlato alle caratteristiche dei materiali utilizzati per realizzare le pellicole, alle condizioni globali di illuminazione e all'angolo di osservazione α.

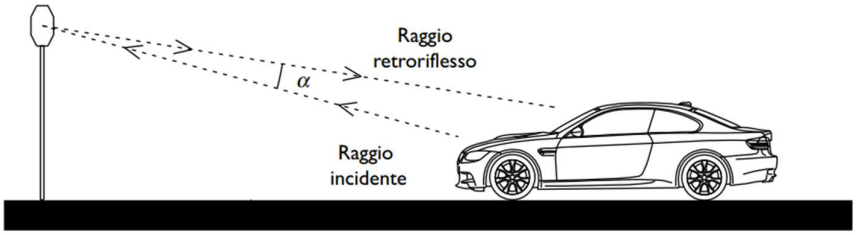


Figura 20: Angolo di osservazione α.

La scelta del tipo di pellicola è connessa all'importanza del segnale e alle condizioni del sito. Il Regolamento del CdS impone l'utilizzo della pellicola di Classe 2 per i segnali di prescrizione quali dare precedenza, fermarsi e dare precedenza, dare precedenza a destra e divieto di sorpasso; nei casi restanti la scelta della pellicola è a discrezione dell'ente proprietario e/o progettista.

La forma, le dimensioni e i colori sono definiti negli artt. 78 e 80 del Regolamento del CdS e dipendono dalle categorie di strada e dalla tipologia di segnale. Con riferimento alla tipologia di strada si identifica, oltre al colore, la dimensione del segnale identificata come: grande, normale o piccola.

Categoria di strada	Colore
A	Verde
B, C, $F_{extraurbane}$	Blu
D, E, F_{urbane}	Bianco

Tipologia	Forma prevalente	Colore
Pericolo Prescrizione (precedenze)	Triangolare	Bianco, blu, rosso, nero
Prescrizione (obblighi) Prescrizione (divieti)	Circolare	Bianco, blu, rosso, nero
Indicazione	Quadrangolare, a freccia	Dipende dalla categoria di strada

Ubicazione	Dimensione
Strade extraurbane a 2 o più corsie per senso di marcia (lato destro) Strade urbane a 3 o più corsie per senso di marcia Installazione al di sopra della carreggiata	Grande
Altre tipologie di strada	Normale
Particolari condizioni di spazio disponibile	Piccola

Figura 21: Definizione della forma, del colore e delle dimensioni in rapporto alla tipologia di strada e del segnale.

Sulla base di quanto riportato nell'art. 81 del Regolamento del CdS, i segnali verticali vengono solitamente installati sul lato destro della strada ma, per motivi di sicurezza, possono essere riproposti in altre zone strategiche dell'infrastruttura (soprattutto nel caso di strade a carreggiata separata o a carreggiata unica con più corsie per senso di marcia).

A seguire si riassumono le indicazioni generali da adottare per l'installazione della segnaletica verticale:

- la distanza tra segnale e bordo esterno della banchina (o ciglio del marciapiede) è compresa tra 30 e 100 cm;
- la distanza minima tra elementi di sostegno verticale e bordo esterno della banchina (o ciglio del marciapiede) è pari a 50 cm;
- le distanze tra segnaletica e bordo esterno della carreggiata inferiori a quelle di sopra descritte sono permesse nel caso in cui sussistano limitazioni dello spazio disponibile ma il segnale non deve invadere la carreggiata (rimanere al massimo all'interno della banchina);

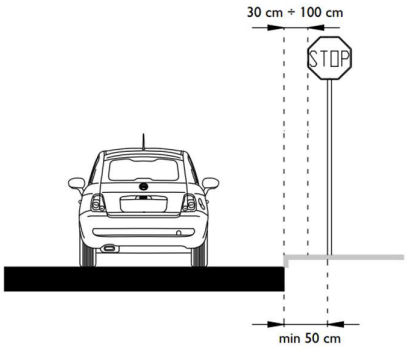


Figura 22: Franchi minimi per i segnali verticali laterali.

- l'altezza dei segnali laterali dal suolo (distanza tra il bordo inferiore del cartello e il piano orizzontale tangente al punto più alto della carreggiata in sezione) è relativa al soddisfacimento della lettura del segnale e deve essere compresa tra i 60 e i 220 cm (eccezione fatta per i segnali mobili);
- l'altezza, in ambito urbano, dei segnali laterali deve comunque rimanere al di sotto dei 450 cm;
- l'altezza dei segnali laterali posti sui marciapiedi o percorsi pedonali (eccezione delle lanterne semaforiche) deve essere almeno pari a 220 cm;

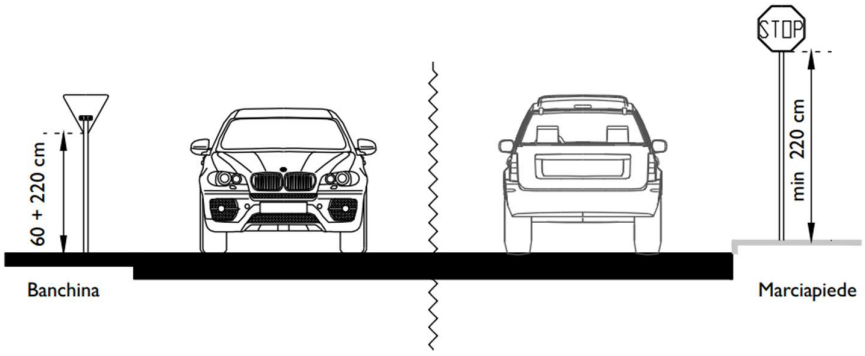


Figura 23: Altezze minime per i segnali verticali laterali.

- i segnali collocati al di sopra della carreggiata devono avere un'altezza minima pari a 5,10 m ed essere collocati con il centro in corrispondenza dell'asse della carreggiata ovvero dall'asse della corsia (nel caso di una sola corsia per senso di marcia);
- per facilitare il meccanismo di percezione del segnale è necessario inclinare il segnale di 3° verso la direzione di provenienza dei veicoli (evitare di installare i segnali ortogonali al moto dei veicoli) e tale inclinazione è da aggiustare nel caso in cui l'andamento del tracciato non sia pianeggiante (3° di inclinazione rispetto al vettore di direzione dei veicoli);

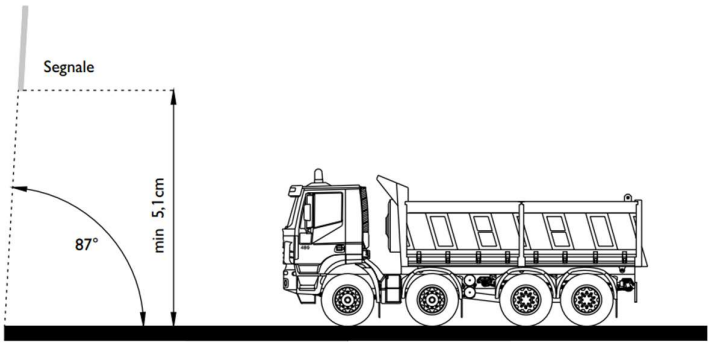


Figura 24: Collocazione dei segnali verticali al di sopra della carreggiata.

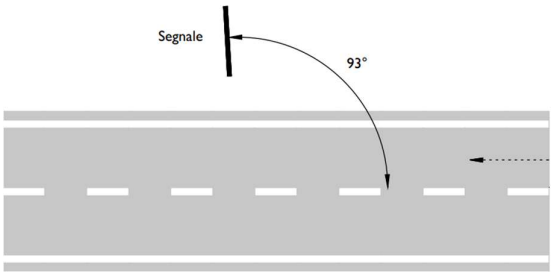


Figura 25: Collocazione dei segnali verticali in rettifilo.

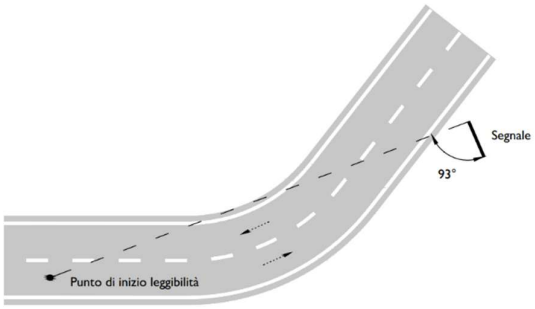


Figura 26: Collocazione dei segnali verticali lungo le curve sinistrose.

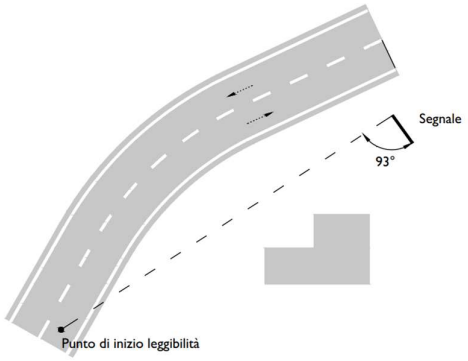


Figura 27: Collocazione dei segnali verticali lungo curve destrorse.

- per garantire l'uniformità dei segnali è opportuno, in tratte omogenee di strada, prevedere la medesima altezza per tutti i segnali verticali utilizzati;
- i segnali devono essere sostenuti da apposito elemento di sostegno che deve essere installato in modo tale da garantire la stabilità del segnale nel tempo;

9.2 *SEGNALETICA ORIZZONTALE*

Le linee ed i dispositivi orizzontali hanno la funzione di caratterizzare la strada, tracciare la guida dei percorsi, costituire in generale un riferimento. I segnali orizzontali consento infatti di regolare, orientare e informare, nelle molteplici condizioni di guida (diurna, notturna, con pioggia e/o nebbia), le correnti veicolari senza che i conducenti distolgano lo sguardo dalla strada, permettendo loro di avere piena consapevolezza dello spazio adibito alla marcia del veicolo. Ciò è garantito utilizzando idonei materiali e colori che assicurino un adeguato contrasto tra la luminanza dei segnali orizzontali e quella della pavimentazione circostante e opportune proprietà retroriflettenti.
I principali segnali orizzontali si suddividono in:

- strisce longitudinali;
- strisce trasversali;
- attraversamenti pedonali e ciclabili;
- frecce direzionali;
- iscrizioni e simboli;
- strisce di delimitazione (degli spazi adibiti alla sosta e alla fermata);
- isole di traffico e presegnalamento (di eventuali ostacoli all'interno della carreggiata).

e sono principalmente di colore bianco (segnaletica orizzontale permanente) o giallo (segnaletica orizzontale temporanea).
La segnaletica orizzontale risulta obbligatoria per tutti i tipi di strada al di fuori di quelle locali in cui le condizioni di circolazione non le richiedono. La segnaletica può essere di tipo continuo o discontinuo ed inoltre avere una differente larghezza in rapporto alla tipologia di strada in cui si colloca.
La larghezza minima delle strisce longitudinali, al di fuori delle strisce di margine, viene riportata al seguito.

Tabella 24: Larghezza minima delle strisce longitudinali.

Categoria di strada	Larghezza minima linee di corsia (cm)	Larghezza minima linee di margine (cm)
A, B Autostrade e strade extraurbane principali	15	25
C, D, E Strade extraurbane secondarie, urbane di scorrimento ed urbane di quartiere	12	15
F Strade locali	10	12

La tipologia di strisce discontinue varia in rapporto all'ambito di applicazione e viene riportato nella seguente tabella. I tratti discontinui, nel caso di tratti in curva, possono presentare delle riduzioni degli intervalli sino ad arrivare alla condizione di striscia continua. Le strisce longitudinali devono essere parallele all'asse stradale a eccezione di quelle di raccordo, che possono presentare un'inclinazione rispetto a esso sino a un valore massimo del 5%.

Ambito di applicazione	Tratto [m]	Intervallo [m]
Separazione sensi di marcia e corsie (V_p> 110 km/h)	4,5	7,5
Separazione sensi di marcia e corsie (50 km/h <V_p< 110 km/h)	3,0	4,5
Separazione sensi di marcia e corsie (V_p ≤ 50 km/h o in galleria)	3,0	3,0
Preavviso di avvicinamento di una striscia continua	4,5	1,5
Delimitazione corsie di accelerazione e decelerazione	3,0	3,0
Strisce di margine, interruzione di linee continue	1,0	1,0
Strisce di guida sulle intersezioni	1,0	1,5
Strisce di separazione delle corsie reversibili	4,5	3,0

Figura 28: Lunghezza dei tratti e degli intervalli nelle strisce longitudinali discontinue.

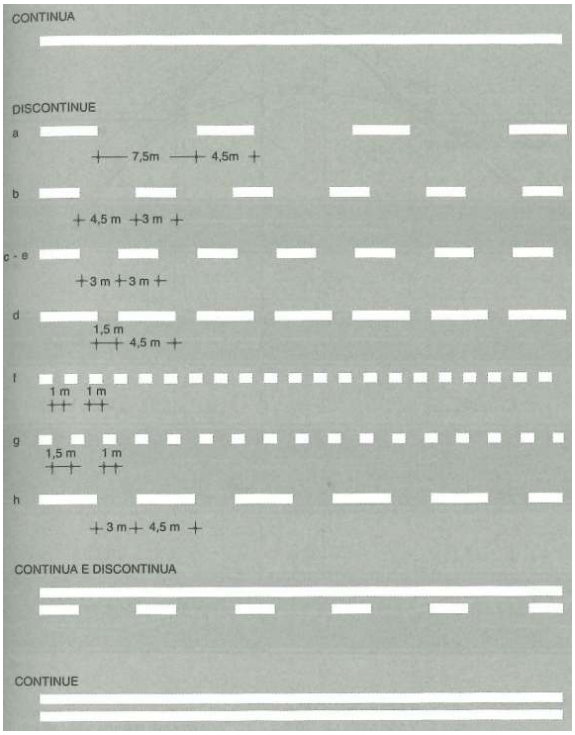


Figura 29: Strisce longitudinali riportati in Fig. II 415 art. 138 del Regolamento del CdS.

Le strisce trasversali o linee di arresto determinano il limite in cui è obbligatorio arrestare il veicolo (fermarsi e dare la precedenza) o verificare l'arresto del veicolo (dare la precedenza). Le strisce devono avere una larghezza minima di 50 cm e devono essere tracciate parallelamente all'asse della strada principale.

La restante segnaletica orizzontale viene specifica negli allegati al Titolo II del Regolamento del CdS. (artt. 139-152).

Come per la segnaletica verticale, la visibilità deve essere rispettata anche nella condizione notturna e questa dipende dal colore, dalle proprietà riflettenti e soprattutto dal fascio luminoso proiettato dai veicoli, dalle capacità visive dei conducenti, dall'intensità di traffico e dalle condizioni ambientali.

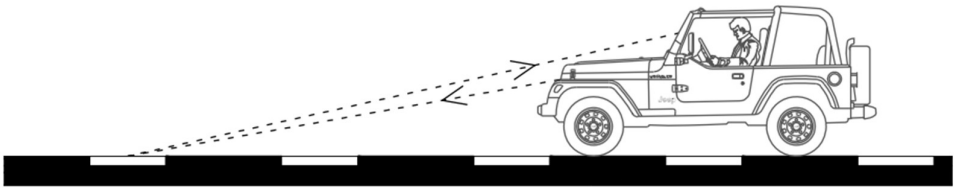


Figura 30: Metodologia di retroriflessione della segnaletica orizzontale.

Le caratteristiche di retroriflessione derivano dalla presenza di microsfere incorporate o post-spruzzate e l'efficacia dell'effetto di riflessione è in rapporto alla dimensione delle sfere, all'indice di rifrazione, alla trasparenza e alla rotondità e alla percentuale di affondamento nella matrice legante. Oltre alle caratteristiche intrinseche della segnaletica la retroriflessione dipende anche dallo stato della pavimentazione su cui posa.
I parametri utilizzati per caratterizzare la retroriflessione sono il coefficiente di luminanza in condizioni d'illuminazione diffusa e il coefficiente di luminanza retroriflessa.
I materiali compositivi della segnaletica stradale possono essere pitture, materiali termoindurenti, materiali termoplastici, preformati e metilmetacrilato (MMA). I materiali differiscono in merito alla metodologia di applicazione, alla temperatura della pavimentazione, alla destinazione d'uso principale, allo spessore tipico, ai principali vantaggi e prestazioni e alla vita utile prevedibile.
La segnaletica orizzontale dipende dalle caratteristiche superficiali della pavimentazione che influenza il grado di adesione, dall'intensità di traffico circolante al di sopra di essa e dalle condizioni ambientali del luogo. Tali caratteristiche influenzano direttamente la durabilità della segnaletica stradale.

Padova, 12/06/2026

IL PROGETTISTA

Ing. Michele Titton