

Relazione tecnica

Riferimenti normativi per la progettazione stradale

I riferimenti normativi per la progettazione stradale sono i seguenti:

- D.M. 5.11.2001 n.5 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade"
- D.L.vo 30.04.1992 n.285 "Nuovo codice della strada"
- D.P.R. 16.12.1992 n.495 "Regolamento di esecuzione e di attuazione del nuovo Codice della Strada"
- D.M. 18.02.1992 n.223 "Regolamento recante istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza"

Il testo normativo fondamentale è il D.L.vo 30 aprile 1992 n° 285 "Nuovo Codice della Strada": esso non contiene disposizioni specifiche per la progettazione e la costruzione, ma fissa le linee guida e i principi generali; in particolare l'art. 13 conferisce al Ministro delle Infrastrutture il compito di emanare le "norme funzionali e geometriche per la costruzione, il controllo ed il collaudo delle strade, dei relativi impianti e servizi". Sancisce inoltre che dette norme "devono essere improntate anche alla sicurezza della circolazione di tutti gli utenti della strada, alla riduzione dell'inquinamento acustico ed atmosferico, ed al rispetto dell'ambiente e di immobili di notevole pregio architettonico o storico".

Sulla base delle disposizioni del Codice, il Ministero delle Infrastrutture ha emanato il D.M. 5 novembre 2001 n° 6792 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade": è la normativa attualmente in vigore per la progettazione e costruzione delle strade. Essa contiene regole relative alle caratteristiche geometriche della sezione stradale, agli elementi della sede stradale e soprattutto alla geometria dell'asse stradale, con riferimento al suo andamento planimetrico e altimetrico.

CRITERI DI PROGETTO ADOTTATI

Classificazione

Considerazioni relative alla sezione stradale tipo

Il D.L.vo 30 aprile 1992 n° 285 "Nuovo Codice della Strada" prevede che le strade siano

classificate, riguardo alle loro caratteristiche costruttive, tecniche e funzionali, nei seguenti tipi:

- A: Autostrade (extraurbane ed urbane)
- B: Strade extraurbane
principali
- C: Strade extraurbane
secondarie
- D: Strade urbane di scorrimento
- E: Strade urbane di quartiere
- F: Strade locali (extraurbane ed urbane)

Ad ogni categoria di strada è associato un intervallo di velocità di progetto, che condiziona le caratteristiche plano-altimetriche dell'asse e le dimensioni degli elementi della sezione.

Con il termine "intervallo di velocità di progetto" si intende il campo dei valori in base ai quali devono essere definite le caratteristiche dei vari elementi di tracciato della strada (rettifili, curve circolari, curve a raggio variabile). Detti valori variano da elemento ad elemento, allo scopo di consentire al progettista una certa libertà di adeguare il tracciato al territorio attraversato.

Il limite superiore dell'intervallo è la velocità di riferimento per la progettazione degli elementi meno vincolanti del tracciato, date le caratteristiche di sezione della strada. Essa è comunque almeno pari alla velocità massima di utenza consentita dal Codice per i diversi tipi di strada (limiti generali di velocità).

Il limite inferiore dell'intervallo è la velocità di riferimento per la progettazione degli elementi plano-altimetrici più vincolanti per una strada di assegnata sezione.

Nel fissare le velocità di progetto di due elementi successivi e contigui del tracciato stradale si dovrà evitare l'adozione dei valori minimo e massimo dell'intervallo prefissato. Inoltre il passaggio da un elemento con una certa velocità di progetto ad un altro con velocità di progetto sensibilmente diversa dovrà avvenire con i criteri di gradualità successivamente prescritti.

Il progetto della sezione stradale consiste nell'organizzazione della piattaforma e dei suoi margini. Tale organizzazione risulta dalla composizione degli spazi stradali definiti per ogni categoria di traffico e concepiti come elementi modulari, anche ripetibili.

Il numero di elementi e la loro dimensione sono funzione rispettivamente della domanda di trasporto e del limite superiore dell'intervallo di velocità di progetto.

Per ogni tipo di strada si possono pertanto avere diversi tipi di sezione, in relazione all'ambito territoriale e all'utenza prevista.

Le dimensioni della piattaforma stradale devono essere mantenute invariate lungo tutto il tracciato della strada, sia in sede naturale, sia in sede artificiale (galleria, sottopasso, ponte, viadotto ecc.)

Apposite tabelle riportano, per ogni tipo di strada e per le eventuali strade di servizio associate, la composizione possibile della carreggiata, i limiti dell'intervallo di velocità di progetto, le dimensioni da assegnare ai singoli elementi modulari ed i flussi massimi smaltibili in relazione ai livelli di servizio indicati. Vengono altresì fornite alcune indicazioni sulla regolazione di funzioni di traffico specifiche.

La normativa prevede inoltre una serie di tabelle contenenti esempi di piattaforma stradale risultanti dalla composizione di alcuni degli elementi modulari già definiti.

Le piattaforme rappresentate, sono quelle ritenute di più frequente applicazione, ma non le uniche che derivino dalle possibili combinazioni degli elementi modulari.

Per ogni tipo di strada viene proposta come soluzione base la configurazione minima prevista dal Codice; i successivi casi presentati riguardano piattaforme nelle quali sono stati aggiunti alcuni elementi modulari integrativi, la cui presenza o meno dovrà essere definita dal progettista in relazione all'ambito territoriale e all'utenza prevista.

I tracciati stradali progettati sono classificati, ai sensi del codice della strada, come “Strada Extraurbana secondaria “ con tipologia C1, (strada di collegamento tra il comparto A e B), e "Strada locale extraurbana" con tipologia "F1". Si tratta di una rete interna al comparto del consorzio per lo sviluppo industriale di Vibo Valentia località Aeroporto e con movimento di penetrazione verso la rete locale, con distanza mediamente percorsa dai veicoli breve, con funzione nel territorio provinciale e interlocale in ambito extraurbano e comunale e con tutte le componenti di traffico. Tale rete si interconnette tramite intersezioni a raso di tipo a rotatoria con la rete secondaria esistente.

La piattaforma stradale di questo tratto è formata da una carreggiata a doppio senso di marcia con due corsie di ml. 4,55, cunette laterali di ml. 0,70 ciascuna e da banchine laterali pavimentate di m.1,00, per una larghezza complessiva di m. 12,50.

L'intervallo della velocità di progetto è compreso tra 60 e 100 Km/h per la strada di collegamento il comparto A e il comparto B dell'agglomerato industriale con tipologia C1 e 40 e 100Km/h per le altre da realizzare interne al comparto A. Il livello di servizio scelti per la strade a due corsie per la tipo C1 e per quelle di tipo F1, ad una corsia, è da ritenersi adeguato al traffico di tipo sostenuto previsto.

La sosta è ammessa lungo le carreggiate. Non si prevede al momento il transito di mezzi pubblici che continueranno ad utilizzare i vecchi tracciati che collegano la provincia con i comuni; ma anche se in seguito ne fosse previsto il passaggio, non saranno comunque necessarie le fermate non essendovi lungo il tracciato edifici o luoghi di interesse pubblico. Il traffico pedonale è ammesso in banchina.

La sezione stradale in rilevato, comprende, a partire dal margine esterno della banchina, un cordolo in materiale bituminoso estruso di altezza cm.10, l'arginello in terra con pendenza del 4% verso l'esterno e la scarpata inerbita con pendenza 2/3 con un fosso al piede per la raccolta delle acque che saranno dimensionate in base al calcolo idraulico delle portate. Sono previsti marciapiedi.

Nei casi in cui la sezione è in sterro, adiacente alla banchina sarà realizzata una canaletta larga 80 cm. rialzata verso la scarpata con pendenza 1/1.

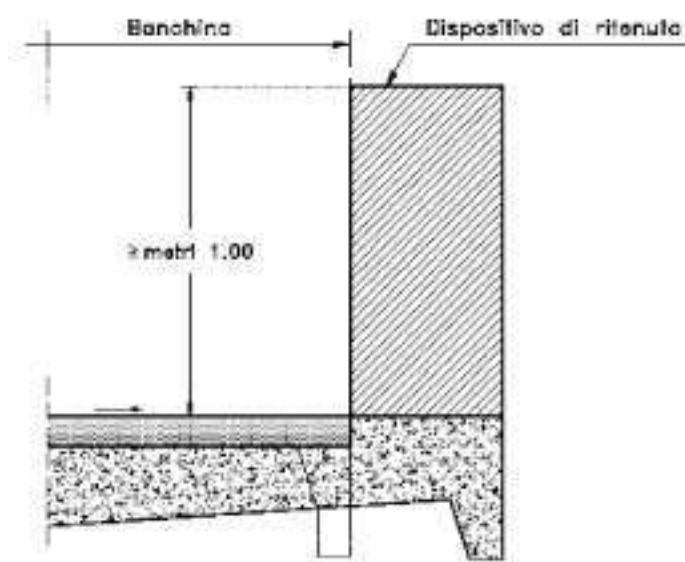
Organizzazione della sede stradale

Sezione stradale in sede artificiale: sovrappasso e viadotto

Sulle opere di scavalcamento (ponti, viadotti, sovrappassi) devono essere mantenute invariate le dimensioni degli elementi componenti la piattaforma stradale, relative al tipo di strada di cui fanno parte dette opere.

A margine della piattaforma delle strade extraurbane e delle autostrade urbane devono essere predisposti dispositivi di ritenuta e/o parapetti di altezza non inferiore a m. 1,00. Inoltre deve essere valutata l'opportunità di predisporre una adeguata protezione del traffico sottostante, sia esso stradale o ferroviario, con l'adozione di reti di conveniente altezza.

Figura 2



Le strutture orizzontali devono dar luogo ad una altezza libera, misurata sulla verticale a partire da qualsiasi punto della carreggiata stradale sottostante, non inferiore a 5,00 metri).

In casi eccezionali si potrà derogare dalla misura suddetta, adottando contemporaneamente opportuni dispositivi segnaletici di sicurezza (ad es. controsagome), posti a conveniente distanza dall'opera.

Elementi marginali e di arredo della sede stradale

Gli spazi e relativi elementi che verranno di seguito analizzati sono: il margine esterno e le piazzole di sosta.

Il margine esterno è quella parte della sede stradale, esterna alla piattaforma, nella quale trovano sede cigli, cunette, arginelli, marciapiedi e gli elementi di sicurezza o di arredo (dispositivi di ritenuta, parapetti, sostegni, ecc.).

Le banchine devono essere raccordate con gli elementi marginali contigui dello spazio stradale (scarpate, cunette, ecc.) mediante elementi di raccordo che possono essere costituiti, a seconda delle situazioni, da arginelli, o fasce di raccordo (cigli), destinati ad accogliere eventuali dispositivi di ritenuta o elementi di arredo.

L'arginello dovrà avere una altezza rispetto la banchina di 5 - 10 cm e raccordato alla scarpata mediante un arco le cui tangenti siano di lunghezza non inferiore a 0.50 m.

La sistemazione del margine esterno adottata è quella di *Figura 3*.

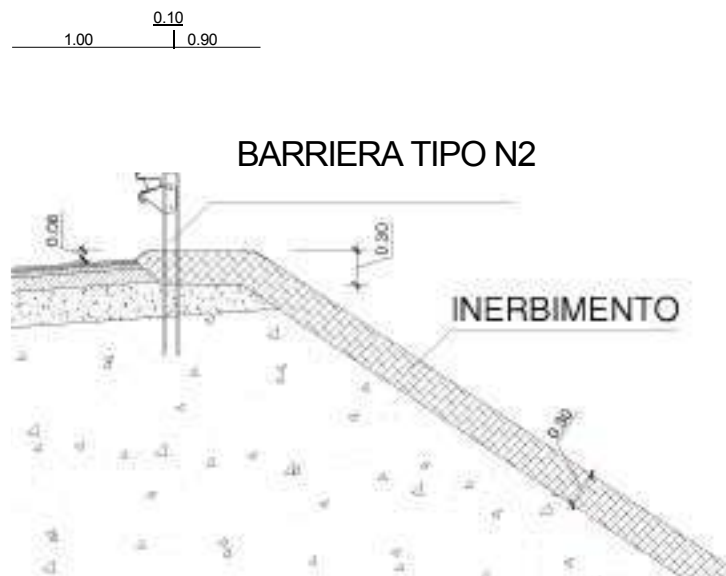


Figura 3

Andamento planimetrico dell'asse

Il tracciato planimetrico è costituito da una successione di rettifili e curve circolari.

Rettifili

Per evitare il superamento delle velocità consentite, la monotonia, la difficile valutazione delle distanze, ridurre l'abbagliamento nella guida notturna e favorire l'inserimento della strada nell'ambiente è opportuno che i rettifili abbiano una *lunghezza* L_r contenuta nel seguente limite:

$$L_r = 22 \times V_{pmax} = 22 \times 100 = 2.200m.$$

dove V_p Max è il limite superiore dell'intervallo di velocità di progetto della strada, in km/h. Un *rettifilo*, per poter esser percepito come tale dall'utente, deve avere una lunghezza non inferiore ai valori riportati nella *Tabella 1*, dove per velocità si intende la massima desunta dal diagramma di velocità per il rettifilo considerato

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

Per la categoria C1 ed F1, assunta una $V_{pmax} = 100$ Km/h, si sono ottenuti i valori di $L_{min} = 150$ m e $L_{max} = 2200$ m.

Tutti i rettifili risultano di lunghezza inferiore a L_{max} , mentre per quanto riguarda la strada di collegamento tra il comparto A e il comparto B non viene rispettata la L_{min} . Mentre per le altre strade dato che si tratta di tratti senza raccordi planimetrici ciò può essere ritenuto trascurabile. .

Mentre per la strada di collegamento risultando non rispettato il limite inferiore ciò viene però ritenuto ammissibile in considerazione del fatto che essi sono brevi tratti di rettifilo, che contribuiscono quindi a realizzare la continuità di tracciato e della sua conclusione con l'innesto su altre strade.

La *pendenza trasversale in rettifilo* nasce dall'esigenza di allontanamento dell'acqua superficiale; la carreggiata è inclinata verso il margine esterno.

La tipologia di piattaforma varia in funzione della categoria di strada, come indicato in *Tabella 2*.


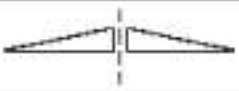




STRADE TIPO	PIATTAFORMA	PENDENZE TRASVERSALI
A, B, D a due o più corsie per carreggiata		
E a quattro corsie		
altre strade		

Tabella 2.

La pendenza minima delle falde della carreggiata, i_c , è del 2,5 %.

Valori inferiori saranno impiegati solo nei tratti di transizione tra elementi di tracciato caratterizzati da opposte pendenze trasversali.

Nel caso in esame la pendenza minima della carreggiata in rettifilo è sempre stata imposta pari al 2,5%.

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, ovvero deve risultare:

$$L_c > 2,5xv_p$$

dove v_p è la velocità di progetto della curva, in m/s.

Tale requisito è ampiamente rispettato lungo tutto l'asse della strada di collegamento tra il comparto A e il comparto B considerata una velocità di percorrenza di 60 km/h e quindi in m/s di 16,67.

I rapporti tra i raggi R_1 e R_2 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 riportato in *Figura 6*. Per le strade di tipo A e B detto rapporto deve collocarsi nella "zona buona"; per le strade degli altri tipi è utilizzabile pure la "zona accettabile".

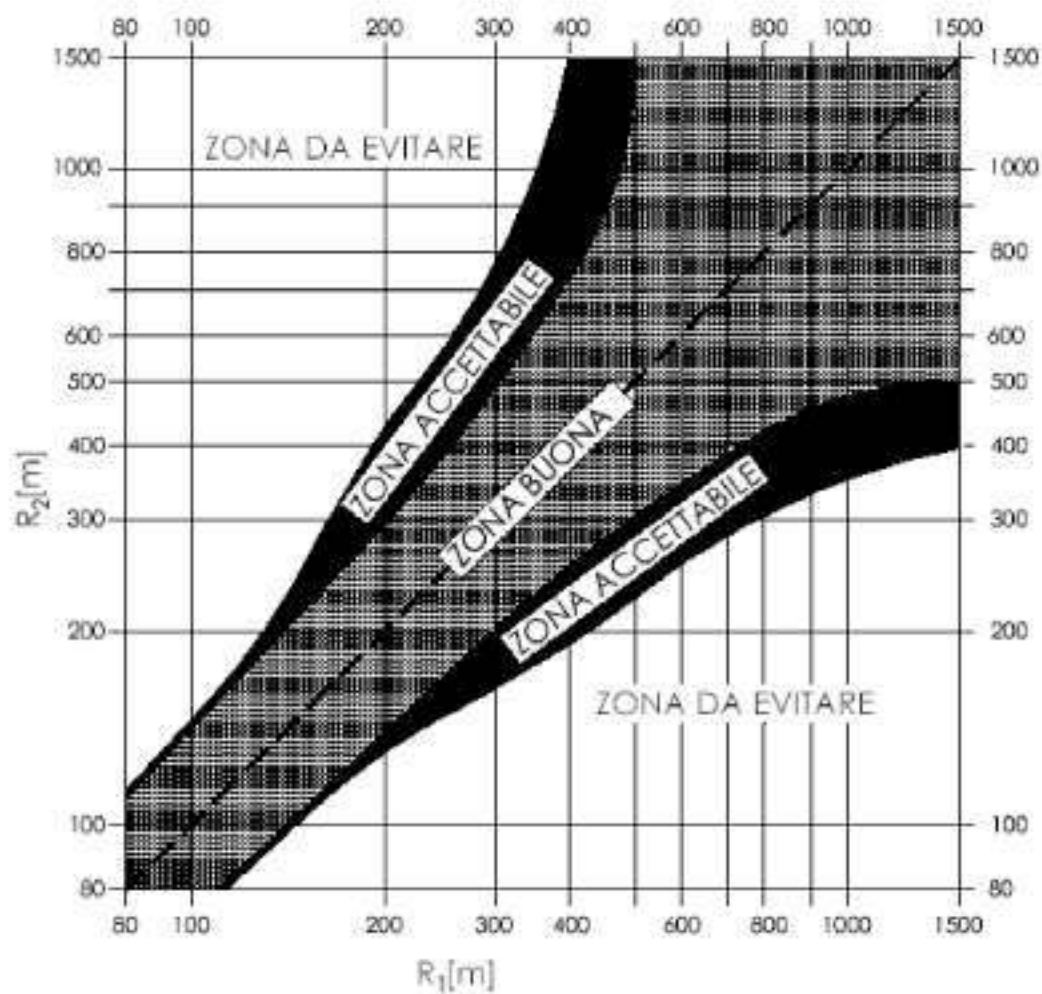


Figura 6

I rapporti nel caso in esame rientrano sempre nella "zona buona".

Tra un rettifilo di lunghezza L_r ed il raggio più piccolo fra quelli delle due curve collegate al rettifilo stesso, anche con l'interposizione di una curva a raggio variabile, deve essere rispettata la relazione:

$$\begin{array}{ll} R > L_r & \text{per } L_r < 300 \text{ m} \\ R > 400 \text{ m} & \text{per } L_r > 300 \text{ m} \end{array}$$

Le disuguaglianze di cui sopra sono sempre rispettate.

Lo sviluppo delle curve è sempre superiore al minimo necessario per percepirle come tale e cioè corrispondente ad un tempo di percorrenza di almeno 2,5 secondi.

I valori dei raggi minimi in funzione del tipo di strada sono riassunti in *Tabella 4*, in cui sono indicati anche i valori dei parametri necessari a calcolo del raggio, quali V_{\min} , q_{\max} e f_{\max} :

TIPi SECONDO IL CODICE	AMBITO TERRITORIALE	DENOMINAZIONE	V_{\min} [km/h]	q_{\max}	f_{\max}	Raggio minimo [m]
AUTOSTRADA A	EXTRAURBANO	STRADA PRINCIPALE	90	0,07	0,118	229
		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	179
		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 4

Pendenze trasversali

Sui tratti in rettilineo la carreggiata presenta una doppia pendenza verso l'esterno pari al 2,5%; in curva la pendenza è inclinata verso l'interno e varia tra il 2,5% e il 7%, dalla normativa con riferimento alla V_{\max} uguale a 100Km/h.. Lungo le curve a raggio variabile inserite tra un rettilineo e una curva circolare si realizza il graduale passaggio della pendenza trasversale tra la situazione a doppia pendenza e quella a unica pendenza verso l'interno della curva, facendo ruotare la carreggiata stradale intorno al suo asse. Le banchine e le piazzole di sosta presentano pendenza uguale e concorde a quella della carreggiata.

Andamento altimetrico dell'asse

Le livellette sono tratti del tracciato altimetrico a pendenza costante collegati da raccordi verticali convessi e concavi. La pendenza delle livellette, risulta inferiore rispetto alla pendenza massima del 7% per la tipologia C e la pendenza del 10% per la tipologia F1 prevista al paragrafo 5.3.1 della normativa.

Di seguito si espone la tabella riassuntiva dei dati degli elementi altimetrici di progetto:

TIPO DI STRADA		AMBITO URBANO	AMBITO EXTRAURBANO
AUTOSTRADA	A	6%	5%
EXTRAURBANA PRINCIPALE	B	-	6%
EXTRAURBANA SECONDARIA	C	-	7%
URBANA DI SCORRIMENTO	D	6%	-
URBANA DI QUARTIERE	E	8%	-
LOCALE	F	10%	10%

Tabella 6

I suddetti valori della pendenza massima possono essere aumentati di una unità qualora, da una verifica da effettuare di volta in volta, risulti che lo sviluppo della livelletta sia tale da non penalizzare eccessivamente la circolazione, in termini di riduzione delle velocità e della qualità del deflusso.

La strada in esame risulta avere pendenze molto inferiori a quella massima prevista per la categoria c1 ed F1 – Solo in un caso per la strada di coronamento Vibo Center si supera per la livelletta il 10%.

I raccordi verticali sono costituiti da archi di parabola quadratica ad asse verticale. I raggi minimi stati desunti dalla fig.5.3.3.a per i raccordi convessi e dalla fig.5.3.4.a per i raccordi concavi, con riferimento alla distanza di visibilità per l'arresto calcolata sul grafico della Fig.5.1.2.c della normativa.

Verifica delle condizioni di visibilità

Per garantire che la marcia di un veicolo proceda sempre sicura sia in rettilineo che in curva, il guidatore di un veicolo che viaggia alla velocità di progetto deve essere in condizione di disporre sempre di una distanza di visuale libera che non sia inferiore alla distanza di arresto del veicolo.

In tal modo eventuali veicoli fermi o ostacoli generici sulla corsia di marcia possono essere individuati in tempo utile per fermare il veicolo prima dell'ostacolo imprevisto.

Per distanza di visuale libera si intende la lunghezza del tratto di strada che il conducente riesce a vedere davanti a sé senza considerare l'influenza del traffico, delle condizioni atmosferiche e di illuminazione della strada.

La distanza di visibilità per l'arresto è pari allo spazio minimo necessario perché un conducente, posto al centro della corsia da lui impegnata e con l'altezza del suo occhio a 1,10m. dal piano viabile, possa arrestare il veicolo in condizioni di sicurezza davanti ad un ostacolo imprevisto, posto lungo l'asse della corsia del conducente a 0,10m. dal piano viabile.

Sui tracciati stradali sono state effettuate le verifiche delle visuali libere.

Dove il tracciato si sviluppa in rilevato ed è necessaria l'installazione di barriere di sicurezza poste al limite della banchina, tali barriere costituiscono per le curve destrorse una limitazione che deve essere considerata ai fini della verifica della visuale libera per l'arresto.

Lungo il tracciato stradale la distanza di visuale libera deve essere confrontata, in fase di progettazione e a seconda dei casi successivamente precisati, con le seguenti distanze:

distanza di visibilità per l'arresto, che è pari allo spazio minimo necessario perché un conducente possa arrestare il veicolo in condizione di sicurezza davanti ad un ostacolo imprevisto;

distanza di visibilità per il sorpasso, che è pari alla lunghezza del tratto di strada occorrente per compiere una manovra di completo sorpasso in sicurezza, quando non si possa escludere l'arrivo di un veicolo in senso opposto;

distanza di visibilità per la manovra di cambiamento di corsia, che è pari alla lunghezza del tratto di strada occorrente per il passaggio da una corsia a quella ad essa adiacente nella manovra di deviazione in corrispondenza di punti singolari (intersezioni, uscite, ecc.).

Le distanze di visibilità da verificare dipendono dal tipo di strada in progetto e dall'elemento di tracciato considerato. Indipendentemente però dal tipo di strada e dall'ambito (extraurbano o urbano), lungo tutto il tracciato deve essere assicurata la distanza di visibilità per l'arresto in condizioni ordinarie o con tempi di reazione maggiorati. Nel caso in esame è stata valutata solo la distanza di visibilità per l'arresto in quanto, essendo la strada in oggetto a carreggiata unica, non è previsto il cambio di corsia e, viste le condizioni planoaltimetriche del tracciato, non è consentito il sorpasso.

Le distanze di visibilità per l'arresto sono fornite (Figura 11) in funzione della velocità di progetto e di una pendenza longitudinale costante. In caso di variabilità di tale pendenza (raccordi verticali), si può

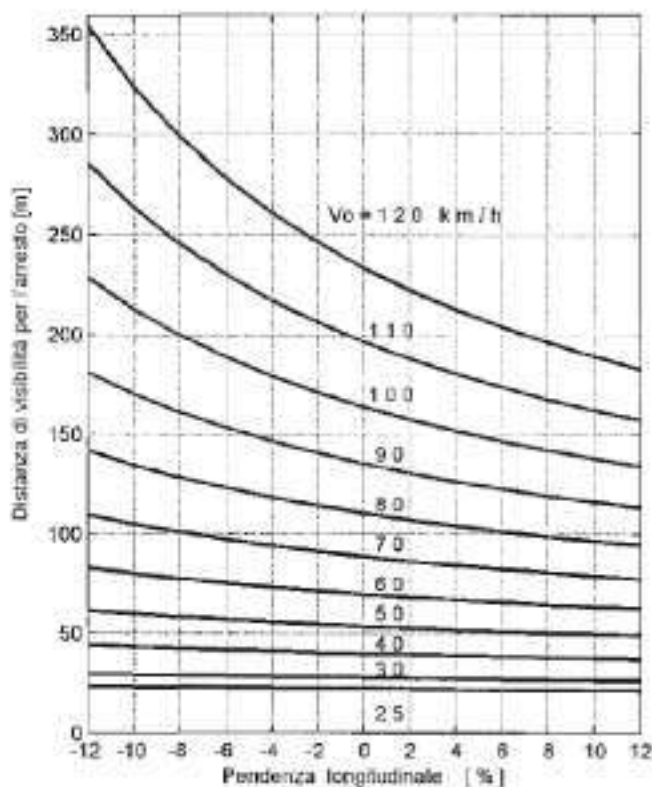


Figura 11

assumere per essa il valore medio.

Ai fini delle verifiche delle visuali libere, la posizione del conducente deve essere sempre considerata al centro della corsia da lui impegnata, con l'altezza del suo occhio a m. 1,10 dal piano viabile.

Nella valutazione della distanza di visibilità per l'arresto, l'ostacolo va collocato a m. 0,10 dal piano viabile e sempre lungo l'asse della corsia del conducente.

Raccordi verticali

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

$$L = R_v \times \Delta i / 100$$

dove Δi è la variazione di pendenza in percento delle livellette da raccordare ed R_v è il raggio del cerchio osculatore, nel vertice della parabola.

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

- che nessuna parte del veicolo (eccetto le ruote) abbia contatti con la superficie stradale; ciò comporta:

$$R_v = R_v \text{ min} = 20 \text{ m nei dossi}$$

$R_v = R_v \text{ min} = 40 \text{ m}$ nelle sacche I raggi verticali del tracciato rispettano ampiamente i $R_v \text{ min}$.

che per il comfort dell'utenza l'accelerazione verticale a_v non superi il valore a_{lim} ; si ha:

$$a_v = v_p^2 / R_v \leq a_{\text{lim}}$$

dove:

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

R_v = raggio del raccordo verticale [m]

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

Tale condizione è ampiamente rispettata essendo molto elevati i valori dei raggi.

In ogni caso, al di là delle verifiche secondo i criteri sopraesposti e che conducono alla determinazione di raggi da intendersi come minimi, è opportuno adottare valori anche sensibilmente maggiori, al fine di garantire una corretta percezione ottica del tracciato, in particolare nei casi di piccole variazioni di pendenza delle livellette e nei casi di sovrapposizione di curve verticali con curve orizzontali (torsione dell'asse). a

Occorre distinguere due casi:

raccordi verticali convessi (dossi)

Con riferimento alle distanze di visibilità da verificare in relazione alle situazioni progettuali assunte, e specificate al *paragrafo 4.4.2*, il raggio minimo del raccordo viene determinato come di seguito:

$$R_v = D^2 / 2x(h_1+h_2+ 2\sqrt{ h_1xh_2})$$

se $D > L$

$$R_v = (2x100) / D \times (D-100) \times ((h_1+h_2+ 2\sqrt{ h_1xh_2}))/ \Delta i$$

se $D < L$

dove: R_v = raggio del raccordo verticale convesso [m] D =
distanza di visibilità da realizzare [m] L = sviluppo del
raccordo [m] Δi = variazione di pendenza delle due
livellette, [%] h_1 = altezza sul piano stradale dell'occhio
del conducente [m] h_2 = altezza dell'ostacolo [m]

Si pone di 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.

La *Figura 12* fornisce, per diversi valori di D , le lunghezze di R_v quando $h_1 = 1,10$ m e $h_2 = 0,10$ m.

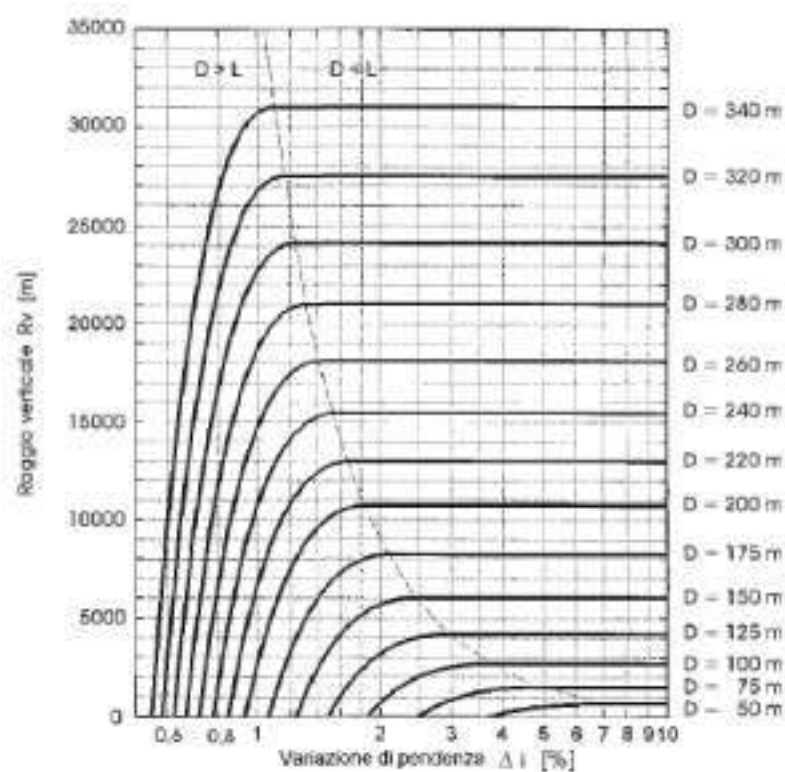


Figura 12

raccordi verticali concavi (cunette)

Con riferimento alla sola distanza di visibilità per l'arresto di un veicolo di fronte ad un ostacolo fisso, ed in mancanza di luce naturale, il raggio minimo del raccordo viene determinato come di seguito:

$$R_v = D^2 / 2(h + D \sin \theta) \quad \text{se } D < L$$

$$R_v = 2 \times 100 / \Delta i ((D - 100 / \Delta i)(h + D \sin \theta)) \quad \text{se } D > L$$

dove: R_v = raggio del raccordo verticale concavo [m]

D = distanza di visibilità da realizzare per l'arresto di un veicolo di fronte ad un ostacolo fisso [m]

L = sviluppo del raccordo [m]

Δi = variazione di pendenza delle due livellette, [%]

h = altezza del centro dei fari del veicolo sul piano stradale

$\theta = 0$ = massima divergenza verso l'alto del fascio luminoso rispetto l'asse del veicolo

Ponendo $h = 0,5$ m e $\theta = 1^\circ$ si hanno i valori di R_v riportati in *Figura 13*.

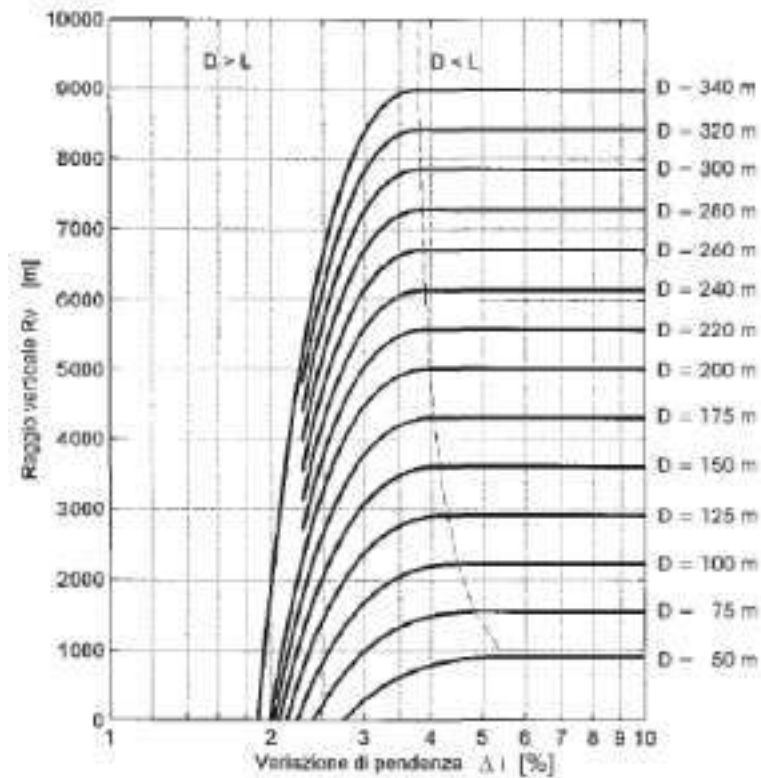


Figura 13

Tutti i raggi dei raccordi verticali risultano essere maggiori dei rispettivi raggi minimi; si può quindi affermare che il tracciato è dal punto di vista altimetrico è progettato in modo conforme alla normativa.

Verifiche di Tracciato

Diagramma delle velocità

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

Il diagramma delle velocità è la rappresentazione grafica dell'andamento della velocità di progetto in funzione della progressiva dell'asse stradale. Si costruisce, sulla base del solo tracciato planimetrico, calcolando per ogni elemento di esso l'andamento della velocità di progetto, che deve essere contenuta nei limiti previsti per ogni tipo di strada.

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

in rettilineo, sugli archi di cerchio con raggio non inferiore a $R_{2,5}$, la velocità di progetto tende al limite superiore dell'intervallo; gli spazi di accelerazione conseguenti all'uscita da una curva circolare, e quelli di decelerazione per l'ingresso a detta curva, ricadono soltanto negli elementi considerati (rettilineo, curve ampie con $R > R_{2,5}$ e clotoidi); la velocità è costante lungo tutto lo sviluppo delle curve con raggio inferiore a $R_{2,5}$, e si determina dall'abaco di *Figura 7*;
i valori dell'accelerazione e della decelerazione restano determinati in 0.8 m/s^2 ; si assume che le pendenze longitudinali non influenzino la velocità di progetto.

Si definisce *lunghezza di transizione* D_T la lunghezza in cui la velocità, conformemente al modello teorico ammesso, passa dal valore V_{p1} a quello V_{p2} , competenti a due elementi che si succedono. D_T (in metri) è dato dalla seguente espressione:

$$D_T = \frac{\Delta V \times V_m^3}{12,96 \times a}$$

dove ΔV = differenza di velocità ($V_{p1} - V_{p2}$) [km/h]

V_m = velocità media tra due elementi [km/h]

a = accelerazione o decelerazione = $\pm 0,8$ [m/s^2]

Si definisce *distanza di riconoscimento* D_r la lunghezza massima del tratto di strada entro il quale il conducente può riconoscere eventuali ostacoli e avvenimenti. Essa è funzione della velocità e può essere calcolata in metri con la relazione:

$$D_r = t x v_p$$

dove $t = 12 \text{ s}$

v_p , espressa in m/s, è da intendersi riferita all'elemento di raggio maggiore

Secondo questo modello 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:

in caso di decelerazioni la distanza di transizione deve avere una lunghezza non superiore alla distanza di riconoscimento:

$$D_T < D_r$$

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

$$D_T < D_v$$

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

Ai fini della *costruzione del diagramma delle velocità* è opportuno predisporre preliminarmente il diagramma delle curvature dell'asse stradale, associandolo alle velocità di progetto nei tratti a curvatura costante e quindi individuando i punti di inizio delle manovre di accelerazione e quelli finali per le decelerazioni. La distanza D somma le lunghezze dei raccordi di transizione e dell'eventuale rettilineo interposto, il tutto fra i punti di tangenza di due curve circolari successive. Il diagramma delle velocità si ottiene riportando le D_T relative alle manovre di accelerazione o decelerazione dai rispettivi punti di inizio o di fine. I casi che si possono presentare dipendono dal rapporto fra le lunghezze D e D_T e sono:

$$D > D_T$$

$$D = D_T$$

$$D < D_T$$

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

Per $V_{pmax} = 100$ km/h (autostrade, strade extraurbane principali e secondarie) nel passaggio da tratti caratterizzati dalla V_{pmax} a curve a velocità inferiore, la differenza di velocità di progetto non deve superare 10 km/h. Inoltre, fra due curve successive tale differenza, comunque mai superiore a 20 km/h, è consigliabile che non superi i 15 km/h.

Dallo studio eseguito sul diagramma delle velocità emerge che le differenze di velocità nel passaggio tra elementi successivi nella strada di collegamento tra A e B sono contenute nei limiti suddetti.

Diagramma delle visibilità e inserimento delle barriere di sicurezza

Per eseguire la verifica di visibilità, occorre costruire uno specifico diagramma per il confronto fra la distanza di arresto necessaria e la distanza di visuale disponibile: affinché sia soddisfatta la verifica, risulta necessario che, in ogni punto del tracciato, la seconda sia maggiore della prima.

Per il calcolo della distanza di arresto si fa riferimento al paragrafo 4.4.3.

Avendo il tracciato in esame una sezione tipo a carreggiata unica e completamente in rilevato, l'unico ostacolo alla visibilità è costituito dalle barriere di sicurezza laterali. In questo caso, quindi, la verifica di visibilità determinerà dei vincoli sulla collocazione dei guard - rail.

Le barriere di sicurezza, come da D.M. 21 giugno 2004 - "Aggiornamento delle istruzioni tecniche per le barriere di sicurezza stradale", devono essere presenti nei seguenti spazi stradali:

i margini di tutte le opere d'arte all'aperto quali ponti, viadotti, ponticelli, sovrappassi e muri di sostegno della carreggiata, indipendentemente dalla loro estensione longitudinale e dall'altezza dal piano di campagna; la protezione dovrà estendersi opportunamente oltre lo sviluppo longitudinale strettamente corrispondente all'opera sino a raggiungere punti (prima e dopo l'opera) per i quali possa essere ragionevolmente ritenuto che il comportamento delle barriere in opera sia paragonabile a quello delle barriere sottoposte a prova d'urto e comunque fino a dove cessi la sussistenza delle condizioni che richiedono la protezione;

- lo spartitraffico ove presente;

- il margine laterale stradale nelle sezioni in rilevato dove il dislivello tra il colmo dell' arginello ed il piano di campagna è maggiore o uguale a 1 m; la protezione è necessaria per tutte le scarpate aventi pendenza maggiore o uguale a 2/3. Nei casi in cui la pendenza

della scarpata sia inferiore a $2/3$, la necessità di protezione dipende dalla combinazione della pendenza e dell'altezza della scarpata, tenendo conto delle situazioni di potenziale pericolosità a valle della scarpata (presenza di edifici, strade, ferrovie, depositi di materiale pericoloso o simili);

- gli ostacoli fissi (frontali o laterali) che potrebbero costituire un pericolo per gli utenti della strada in caso di urto, quali pile di ponti, rocce affioranti, opere di drenaggio non attraversabili, alberature, pali di illuminazione e supporti per segnaletica non cedevoli, corsi d'acqua, ecc, ed i manufatti, quali edifici pubblici o privati, scuole, ospedali, ecc., che in caso di fuoriuscita o urto dei veicoli potrebbero subire danni comportando quindi pericolo anche per i non utenti della strada. Occorre proteggere i suddetti ostacoli e manufatti nel caso in cui non sia possibile o conveniente la loro rimozione e si trovino ad una distanza dal ciglio esterno della carreggiata, inferiore ad una opportuna distanza di sicurezza; tale distanza varia, tenendo anche conto dei criteri generali indicati nell'art. 6, in funzione dei seguenti parametri: velocità di progetto, volume di traffico, raggio di curvatura dell'asse stradale, pendenza della scarpata, pericolosità dell'ostacolo.

Le protezioni dovranno in ogni caso essere effettuate per una estensione almeno pari a quella indicata nel certificato di omologazione, ponendone circa due terzi prima dell'ostacolo, integrando lo stesso dispositivo con eventuali ancoraggi e con i terminali semplici indicati nel certificato di omologazione; in particolare, ove possibile, per le protezioni isolate di ostacoli fissi, all'inizio dei tratti del dispositivo di sicurezza, potranno essere utilizzate integrazioni di terminali speciali appositamente testati. Per la protezione degli ostacoli frontali dovranno essere usati attenuatori d'urto.

Nel caso in esame risulta necessaria la predisposizione delle barriere in corrispondenza della scarpata e del lato parallelo alla strada provinciale per Troppa in modo tale da impedire una invasione di carreggiata da parte dei veicoli circolanti su tale tratto di collegamento tra il comparto A e il comparto B

A seguito della verifica di visibilità, nessun tratto di guard - rail deve essere eliminato perché garantisce la distanza di visuale libera necessaria.

La scelta dei dispositivi di sicurezza avverrà tenendo conto della loro destinazione ed ubicazione del tipo e delle caratteristiche della strada nonché di quelle del traffico cui la stessa sarà interessata.

Ai fini applicativi il traffico sarà classificato in ragione dei volumi di traffico e della prevalenza dei mezzi che lo compongono, distinto nei seguenti livelli:

Tipo di traffico	TGM	% Veicoli con massa >3,5 t
I	≤1000	Qualsiasi
I	>1000	≤5
II	>1000	5 < n ≤ 15
III	>1000	>15

Tabella 9

Per il TGM si intende il Traffico Giornaliero Medio annuale nei due sensi.

Ai fini applicativi la *Tabella 10* riporta - in funzione del tipo di strada, del tipo di traffico e della destinazione della barriera - le classi minime di dispositivi da applicare.

TIPO DI STRADA	TRAFFICO	DESCRIZIONE		
		SPARTITRAFFICO a (1)	BORDO LATERALE b	BORDO PONTE c (2)
Autostrada (A) e strade extraurbane princ. (B)	I	<u>H2</u>	<u>H1</u>	<u>H2</u>
	II	<u>H3</u>	<u>H2</u>	<u>H3</u>
	III	<u>H3-H4 (3)</u>	<u>H2-H3 (3)</u>	<u>H3-H4 (3)</u>
Strada extr. second. (C) e strada urb. di scorr. (D)	I	<u>H1</u>	<u>N2</u>	<u>H2</u>
	II	<u>H2</u>	<u>H1</u>	<u>H2</u>
	III	<u>H2</u>	<u>H2</u>	<u>H3</u>
Strada urb. di quart. (E) e strade locali (F)	I	<u>N2</u>	<u>N1</u>	<u>H2</u>
	II	<u>H1</u>	<u>N2</u>	<u>H2</u>
	III	<u>H1</u>	<u>H1</u>	<u>H2</u>
1) Ove esistenti. 2) Valido per opere d'arte con lunghezza superiore a 10 ml. 3) La scelta della classe sarà determinata dal progettista in funzione della larghezza della barriera, caratteristiche geometriche della strada e percentuale di traffico pesante.				

Tabella 10

Essendo nel caso in esame il TGM pari a 1350 v/g e la percentuale di traffico pesante pari al 7%, si sono scelte le seguenti tipologie di barriere:

- rilevato: N2 laterale

Lato strada Provinciale: H2 bordo ponte

Si riportano in *Tabella 11* le tipologie di barriere utilizzate e le relative progressive di inizio e fine.

LATO DESTRO			LATO SINISTRO		
Progressiva		Tipo barriera	Progressiva		Tipo barriera
inizio	fine		inizio	fine	
0	300	H4 bordo ponte	0	300	N2 laterale

Tabella 11

COSTRUZIONE DEL CORPO STRADALE

Il rilevato

La realizzazione del rilevato avverrà previa opportuno smacchiamento e bonifica del piano di posa del rilevato stesso e mediante l'utilizzo di terre idonee.

Per quanto riguarda la geometria delle scarpate, si sono adottate le seguenti tipologie:

H rilevato <4m=> scarpata semplice con pendenza 2/3 –

H rilevato > 4 m=> scarpata con pendenza 2/3 e berma larga 2,5 m

La superficie delle scarpate è stata ricoperta con uno strato di inerbimento di spessore pari a 30 cm.

La sovrastruttura

Dai dati di traffico a disposizione, è emerso che sarà necessaria la realizzazione della seguente tipologia di pavimentazione flessibile:

- usura in conglomerato bituminoso sp. = 4 cm
- binder in conglomerato bituminoso sp. = 7 cm
- base in misto cementato = 20 cm
- fondazione in misto granulare sp. = 30 cm
- griglia di geocomposito di rinforzo

Le opere principali da realizzare sono le seguenti:

- scotico del terreno
- scavi di sbancamento
- consolidamento del terreno
- attraversamenti idraulici con tubazioni di idonee dimensioni
- rilevati in materiale di adeguata granulometria
- ricoprimento del terreno con strato vegetale per l'inerbimento delle scarpate laterali
- escavazione delle fosse di scolo laterali
- massicciata stradale in misto granulare di cava di adeguata granulometria
- strato di base in conglomerato bituminoso di pezzatura compresa fra 0 e 30 mm.
- strato di collegamento (binder) in conglomerato bituminoso di pezzatura 0-20 mm.
- strato di usura (tappeto) in conglomerato bituminoso di pezzatura 0-10 mm ;
- segnaletica orizzontale e verticale
- dispositivi di ritenuta laterali di classe N2 bordo laterale
- impianti di illuminazione lungo l'asse
- opere a verde compreso inerbimento scarpate e piantumazione arbusti e siepi
- opere accessorie e complementari come canalette, griglie, chiusini, aiuole, cordonati

La sovrastruttura della carreggiata è costituita da un pacchetto multistrato che presenta complessivamente uno spessore di circa cm.70, ed è composta di una fondazione di spessore minimo cm.60 costituita da misto granulare di cava, dallo strato di base in misto cementato, dallo strato di collegamento o binder di spessore cm.7 e dal tappeto di usura di cm.4.

Le barriere di sicurezza inserite lungo il tracciato della variante e sulla viabilità minore sono individuate sulla base di quanto prescritto dal D.M. 18.02.1992 n.223.

Si utilizzeranno pertanto barriere di bordo laterale N2 e barriere bordo ponte H2.

La segnaletica orizzontale e verticale prevista risulta essere conforme a quanto prescritto dal Nuovo codice della Strada per le diverse tipologie di strada.

Per quanto riguarda il piano di manutenzione, le opere principali da curare riguardano il taglio dell'erba lungo le scarpate stradali e lungo i fossi di progetto e la verifica dei manufatti in cemento armato quali nuovi attraversamenti idraulici e dei dispositivi di ritenuta. Per quanto attiene al taglio dell'erba, esso verrà eseguito due volte l'anno allo scopo di consentire la pulizia delle scarpate e dei fossi che raccolgono le acque meteoriche sull'intera area di intervento. Per quanto riguarda le caratteristiche prestazionale e descrittive dei materiali si fa riferimento allo studio a carattere prenormativo "Norme

tecniche di tipo prestazionale per capitolati speciali d'appalto" commissionato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti e dall'Ispettorato per la Circolazione e la Sicurezza Stradale al CIRS - Centro sperimentale Interuniversitario di Ricerca Stradale e approvato dalla Commissione di studio per le norme relative ai materiali stradali e progettazione, costruzione e manutenzione strade del CNR.