

COMUNE DI PECCIOLI



Lavori di realizzazione di nuova viabilità a Fabbrica di Peccoli.

Committente: Comune di Peccoli

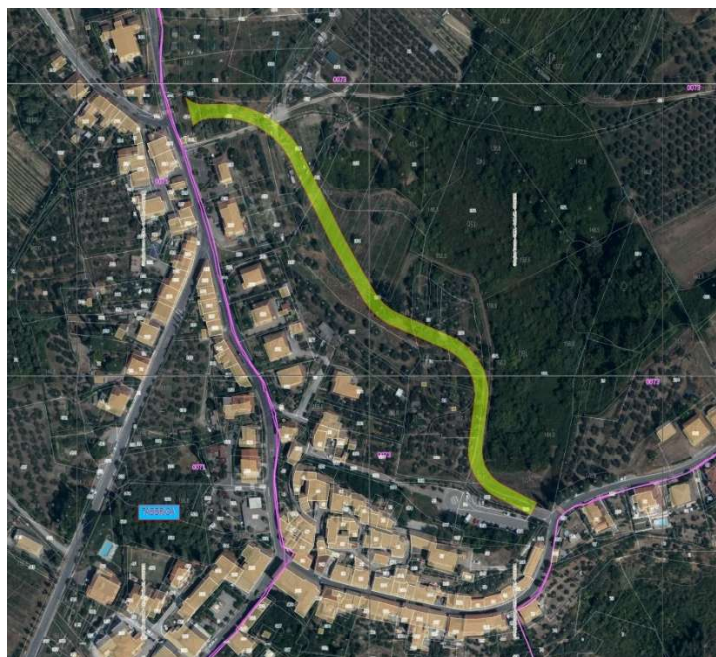
R.U.P.: Arch. A. Cortese

Progettisti: Ing. Francesco Donati e Geom. Marco Casati

Coordinatore della Sicurezza: Geom. Simone Sgherri

Progetto Esecutivo

Relazione Tecnica e di rispondenza alla normativa Stradale



Indice

<i>1. PREMESSA.....</i>	<i>pag. 3</i>
<i>2. INQUADRAMENTO NORMATIVO.....</i>	<i>pag. 5</i>
<i>3. CARATTERISTICHE FUNZIONALI E GEOMETRICHE STRADA.....</i>	<i>pag. 7</i>
<i>3.1 Classificazione funzionale stradale.....</i>	<i>pag. 7</i>
<i>3.2 Organizzazione sede stradale.....</i>	<i>pag. 8</i>
<i>3.3 Descrizione del tracciato stradale.....</i>	<i>pag. 10</i>
<i>3.4 Andamento altimetrico dell'asse.....</i>	<i>pag. 12</i>
<i>3.4.1 Livellette.....</i>	<i>pag. 12</i>
<i>3.4.2 Raccordi verticali.....</i>	<i>pag. 13</i>
<i>3.5 Andamento planimetrico dell'asse.....</i>	<i>pag. 14</i>
<i>3.5.1 Rettifili.....</i>	<i>pag. 15</i>
<i>3.5.2 Curve circolari.....</i>	<i>pag. 15</i>
<i>3.5.3 Pendenze trasversali.....</i>	<i>pag. 16</i>
<i>3.5.4 Clotoidi.....</i>	<i>pag. 18</i>
<i>3.5.5 Allargamento della carreggiata in curva.....</i>	<i>pag. 18</i>
<i>3.5.6 Distanze di visibilità.....</i>	<i>pag. 21</i>
<i>4. CORPO STRADALE.....</i>	<i>pag. 25</i>
<i>4.1 Rilevati.....</i>	<i>pag. 25</i>
<i>5. SOVRASTRUTTURA STRADALE.....</i>	<i>pag. 27</i>
<i>5.1 Descrizione della pavimentazione stradale.....</i>	<i>pag. 27</i>
<i>5.2 Traffico di progetto.....</i>	<i>pag. 29</i>
<i>5.3 Verifica della pavimentazione stradale.....</i>	<i>pag. 30</i>

1. Premessa

La presente relazione tecnica stradale è redatta nell'ambito del progetto esecutivo relativo ai "*Lavori di realizzazione di nuova viabilità a Fabbrica di Peccioli*", su incarico del Comune di Peccioli (PI) con Determinazione n.449 del 07/11/2022 (e successive integrazioni).

La zona interessata dall'intervento è ubicata a nord-est rispetto alla frazione di Fabbrica e, trattandosi l'opera in progetto di un'infrastruttura viaria, avrà un andamento prevalentemente lineare con un'estensione di circa 400 metri. L'area di interesse è prevalentemente collinare con quote che si attestano tra i 141 e i 175 slm.

Il tracciato in progetto, come illustrato in Figura 1, costituirà un importante by-pass a nord-est della frazione di Fabbrica che andrà ad alleggerire il traffico di attraversamento del centro, rendendo possibili opere di valorizzazione con nuove pavimentazioni e arredo urbano in Via di Mezzo, Via della Chiesa e Via Vittorio Veneto.

L'intervento si sviluppa coerentemente con quanto previsto dal Piano Operativo Comunale (Scheda Intervento n. 25/1 e 25/2 - N.T.A.), con piccoli discostamenti planimetrici, comunque contenuti all'interno del corridoio infrastrutturale definito dall'Amministrazione Comunale, per ottenere una migliore funzionalità dell'infrastruttura.

Dal punto di vista del tracciato planoaltimetrico, che si svilupperà interamente in sede naturale, gli unici vincoli sono imposti dalle quote esistenti sui punti di inizio (Via di Mezzo – Parcheggio della Magrina) e di fine intervento (rotonda in corso di costruzione con altro appalto pubblico) e dalla intersezione con la strada vicinale d'Acquaviva, per il mantenimento della quale sarà realizzato un sottopasso carrabile e pedonale.

L'asse viario in progetto si raccorderà dunque alle quote altimetriche imposte dalla rete stradale esistente.

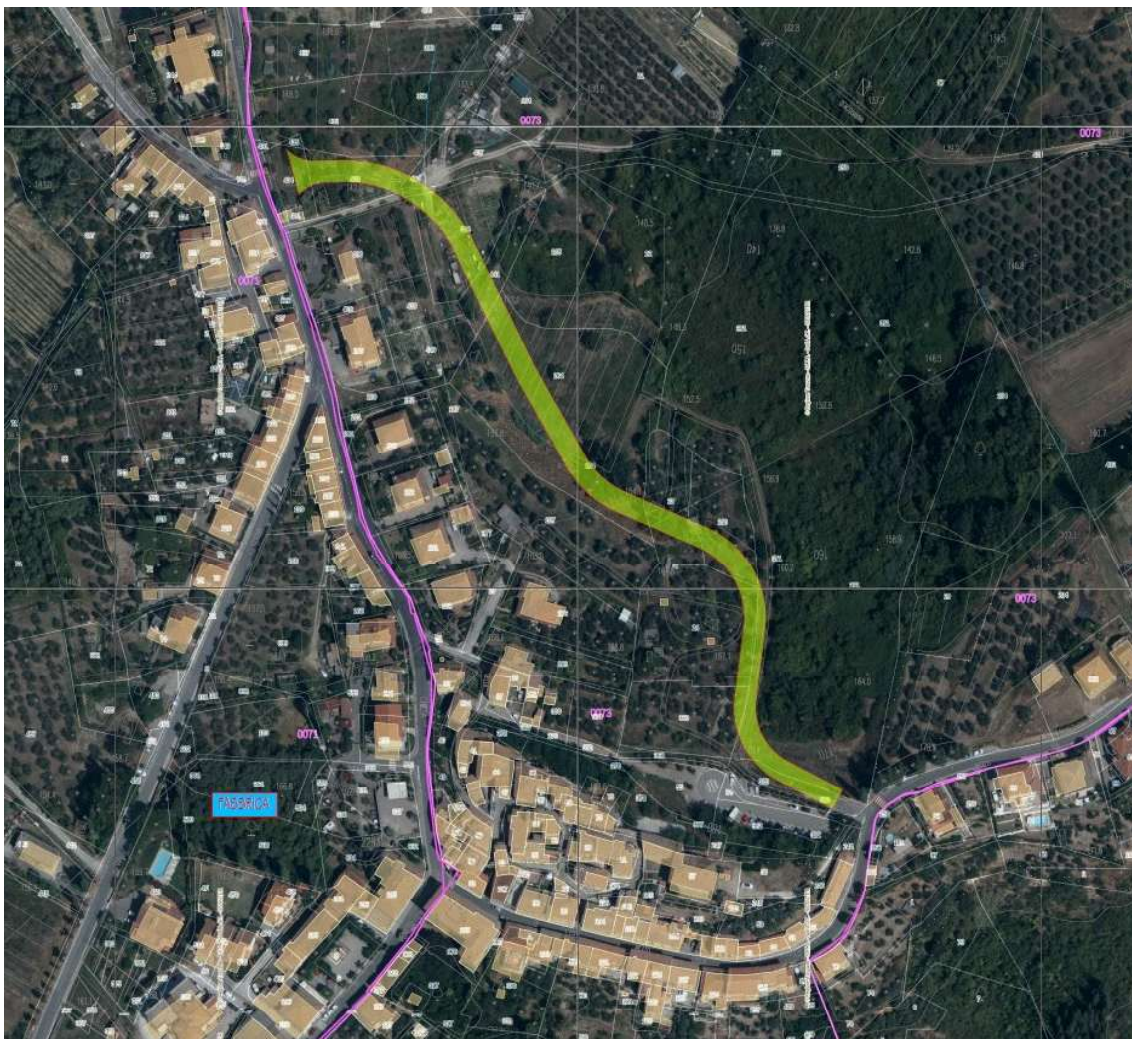


Figura 1: inquadramento planimetrico della nuova viabilità

2. Inquadramento normativo

Il progetto è stato redatto in conformità alle normative tecniche e legislative attualmente vigenti ed in particolare si è fatto riferimento alle seguenti norme:

- **Normativa Italiana strade**
 - D.Lgs n. 285/92 e s.m.i. *"Nuovo Codice della Strada"*;
 - D.P.R. n. 495/92 e s.m.i. *"Regolamento di esecuzione e attuazione del Nuovo Codice della Strada"*;
 - D.M. Infrastrutture Trasporti 5/11/2001 *"Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade"* e s.m.i.;
 - Legge Regionale 24 Aprile 2006 n. 7 *"Norme tecniche per la progettazione delle strade"*;
 - D. M. 19 aprile 2006 *"Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali"*;
- **Normativa quadro Europea barriere sicurezza**
 - UNI-EN 1317-1 (Maggio 2000) – BARRIERE DI SICUREZZA STRADALI: Terminologia e criteri generali per i metodi di prova;
 - UNI-EN 1317-2 (Maggio 2000) – BARRIERE DI SICUREZZA STRADALI: Classi di prestazione, criteri di accettazione delle prove d'urto e metodi di prova per le barriere di sicurezza;
- **Normativa Italiana barriere sicurezza**
 - D.M.LL.PP. n. 233/92 – Regolamento recante *"Istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza"*;
 - D.M.LL.PP. n. 4621/96 – Aggiornamento del D.M.LL.PP. n. 233/92, recante *"Istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza"*;
 - D.M.LL.PP. 03/06/1998 – Ulteriore aggiornamento del D.M.LL.PP. n. 233/92 e s.m.i., recante *"Istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza"*;
 - D.M.LL.PP. 11/06/1999 – Integrazioni e modificazioni al D.M.LL.PP. 03/06/1998 recante *"Aggiornamento del D.M.LL.PP. n. 233/92 e s.m.i.,*

recante istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza";

- D.M. Infrastrutture e Trasporti 21/06/2004 recante *"Aggiornamento delle istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza e prescrizioni tecniche per le prove delle barriere di sicurezza stradale";*
- Direttiva D.M. Infrastrutture e Trasporti 25/08/2004 recante *"Criteri di Progettazione, installazione, verifica e manutenzione dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali".*

3. Caratteristiche funzionali e geometriche della strada

3.1 Classificazione funzionale stradale

In base alle valutazioni effettuate e a quanto indicato dall'Amministrazione Comunale, l'infrastruttura oggetto di progettazione è classificata come "*Strada locale urbana*" di categoria F, per la quale la velocità di progetto risulta compresa nell'intervallo tra 25 e 60 km/h.

Tabella 5.1.2
Classificazione della rete stradale
Categorie di traffico ammesse e spazi da assegnare per le strade urbane
Elementi ripresi dal DM 5-11-2001

Categoria	A - Autostrada Urbana		D - Urbana di Scorrimento		E - Urbana di Quartiere	F - Locale Urbana
	Strada principale	Strada di servizio (event.)	Strada principale	Strada di servizio (event.)		
Pedoni	Non ammessa	Marciapiede protetto	Marciapiede protetto	Marciapiede	Marciapiede	Marciapiede
Velocipedi	Non ammessa	Corsia o Pista ciclabile	Pista ciclabile	Corsia o Pista ciclabile	Corsia o Pista ciclabile	Corsia o Pista ciclabile
Ciclomotori	Non ammessa	Corsia	Corsia	Corsia	Corsia	Corsia
Autovetture	Corsia	Corsia	Corsia	Corsia	Corsia	Corsia
Autobus	Corsia	Corsia o Corsia riservata	Corsia o Corsia riservata	Corsia o Corsia riservata	Corsia o Corsia riservata	Corsia o Corsia riservata
	Esclusa fermata	Piazzole di fermata o eventuale corsia riservata	Corsia riservata e/o fermate organizzate	Piazzole di fermata	Piazzole di fermata o eventuale corsia riservata	Piazzole di fermata
						Dimensioni corsie adeguate
Autocarri	Corsia	Corsia	Corsia	Corsia	Corsia	Corsia
Autotreni Autoarticolati	Corsia	Corsia	Corsia	Corsia	Corsia	Non ammessa
Veicoli su rotaia	Non ammessa	Corsia o Corsia riservata o appositi spazi	Non ammessa	Corsia o Corsia riservata o appositi spazi	Corsia o Corsia riservata o appositi spazi	Corsia o Corsia riservata o appositi spazi
						Dimensioni corsie adeguate
Sosta	Non ammessa (solo in spazi separati con immissioni ed uscite concentrate)	Appositi spazi (Fascia di sosta)	Non ammessa (solo in spazi separati con immissioni ed uscite concentrate)	Appositi spazi (Fascia di sosta)	Appositi spazi (Fascia di sosta)	Appositi spazi (Fascia di sosta)
Accessi	Non ammessi	Ammessi	Non ammessi	Ammessi	Ammessi	Ammessi

Figura 2: classificazione strada di progetto

Le categorie di traffico ammesse sulla strada, la loro localizzazione esterna o interna alla carreggiata e gli spazi assegnati in piattaforma sono riassunti nella tabella suddetta, in cui per ogni categoria di traffico è indicata l'ammissibilità secondo normativa e gli spazi dedicati ad ognuna di esse nella strada di progetto.

Le caratteristiche di una "*Strada locale urbana*" di categoria F, secondo il Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 5/11/2001, sono le seguenti:

- Movimento servito: penetrazione verso la rete locale;
- Entità dello spostamento: distanze ridotte;
- Funzione nel territorio: urbano-locale;
- Componenti di traffico: tutte le componenti.

3.2 Organizzazione della sede stradale

La sede stradale e le componenti costituenti la piattaforma e i suoi margini sono stati organizzati secondo le disposizioni indicate nel D.M. n. 6792 del 5/11/2001, in relazione all'ambito territoriale e all'utenza prevista.

Sono stati così definiti i limiti dell'intervallo di velocità di progetto, le dimensioni degli elementi costitutivi lo spazio stradale e le funzioni ammissibili.

Tali caratteristiche sono riassunte nelle Figure 3 e 4 seguenti.

Strada locale urbana - Categoria F		
Caratteristica	D.M. n. 6792 del 5/11/2001	Progetto
Limite di velocità (km/h)	50	50 (30 in alcuni tratti)
Numero corsie per senso di marcia	1 o più	1
Limite inferiore della velocità di progetto (km/h)	25	25
Limite superiore della velocità di progetto (km/h)	60	60
Larghezza della corsia di marcia (m)	2,75	3,50
*3,50 metri per una corsia per senso di marcia, se percorsa da autobus		
Larghezza minima spartitraffico	-	-
Larghezza minima banchina sinistra (m)	-	0,50
Larghezza minima banchina destra (m)	0,50	0,50
Larghezza minima corsia emergenza (m)	-	-
Larghezza minima marciapiedi (m)	1,50	1,50
Regolazione traffico pedonale	su marciapiedi	su marciapiedi
Accessi	ammessi	ammessi

Figura 3: tabella caratteristiche strada

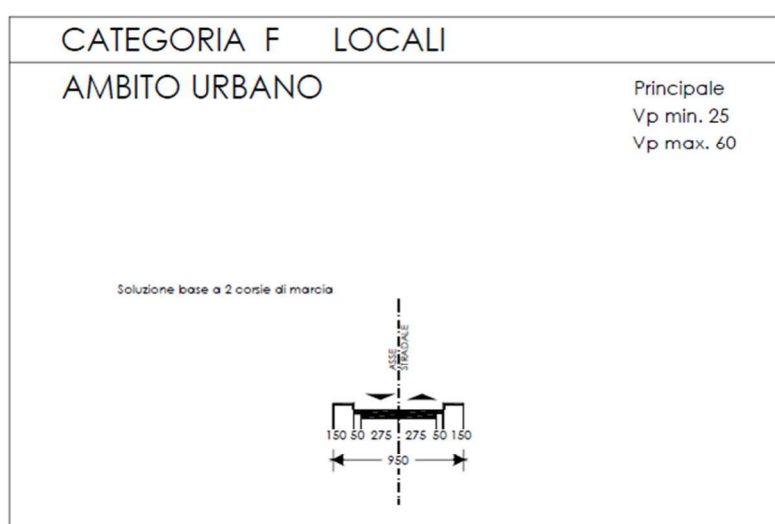


Figura 4: organizzazione minima della piattaforma stradale per categoria F (estratto D.M. 5/11/2001)

Dalla normativa vigente desumiamo le seguenti definizioni per gli elementi di piattaforma che interesseranno la nuova viabilità in progetto:

- **BANCHINA:** parte della strada, libera da qualsiasi ostacolo (segnaletica verticale, delineatori di margine, dispositivi di ritenuta), compresa tra il

marginale della carreggiata e il più vicino tra i seguenti elementi longitudinali: marciapiede, spartitraffico, arginello, ciglio interno della cunetta, ciglio superiore della scarpata nei rilevati.

Si distingue in:

- "*banchina in destra*", che ha funzione di franco laterale destro, di norma pavimentata;
 - "*banchina in sinistra*", che è la parte pavimentata del margine interno.
- **CARREGGIATA:** parte della strada destinata allo scorrimento dei veicoli; essa è composta da una o più corsie di marcia; è pavimentata ed è delimitata da strisce di margine (segnaletica orizzontale).
 - **CORSIA:** parte longitudinale della strada, normalmente delimitata da segnaletica orizzontale, di larghezza idonea a permettere il transito di una sola fila di veicoli. Nel nostro caso abbiamo solamente la seguente tipologia di corsia:
 - *corsia di marcia:* corsia facente parte della carreggiata, destinata alla normale percorrenza o al sorpasso.
 - **DISPOSITIVO DI RITENUTA:** elemento tendente ad evitare la fuoriuscita dei veicoli dalla piattaforma o comunque a ridurre le conseguenze dannose. È contenuto all'interno dello spartitraffico o del margine esterno alla piattaforma.
 - **MARCIAPIEDE:** parte della strada, esterna alla carreggiata, rialzata o altrimenti delimitata e protetta, destinata ai pedoni.
 - **MARGINE INTERNO:** parte della piattaforma che separa carreggiate percorse in senso opposto.
 - **PIATTAFORMA:** parte della sede stradale che comprende i seguenti elementi:
 - *una o più carreggiate complanari, di cui la corsia costituisce il modulo fondamentale;*
 - *le banchine in destra e in sinistra;*
 - *i margini (eventuali) interno e laterale (comprensivi delle banchine);*
 - *le corsie riservate, le corsie specializzate, le fasce di sosta laterale e le piazzole di sosta o di fermata dei mezzi pubblici (se esistenti).*

La piattaforma stradale in progetto sarà a carreggiata unica, costituita da due corsie di marcia e dalle due banchine.

Le due corsie, dato che dovrà essere consentito anche il transito degli autobus nelle due direzioni di marcia, avranno larghezza pari a 3,50 metri, mentre le banchine saranno larghe 0,50 metri.

La larghezza complessiva della piattaforma sarà quindi pari ad 8,00 metri, ai quali saranno poi da aggiungere 1,50 metri di marciapiede sul lato monte e 0,50 metri su ciascun lato di arginello.

La pendenza trasversale in rettifilo sarà pari al 2.5% verso l'esterno per ciascuna corsia, mentre in curva sarà variabile in funzione del raggio della curva.

La pendenza trasversale sarà mantenuta costante anche nelle banchine.

Preme evidenziare che nonostante le velocità di progetto della nuova strada urbana locale siano ben inferiori a 70 km/h, a favore di sicurezza il progetto ha previsto la dotazione sia sul lato valle (a protezione delle scarpate, ben maggiori di 1,00 metro di altezza in larghi tratti del tracciato), sia sul lato monte (a protezione dei pedoni che percorreranno il marciapiede) di barriere stradali di sicurezza di classe N2 per bordo laterale o rilevato W5A, idonee per la categoria di traffico stimata.

L'immagine seguente (Figura 5) schematizza la sezione tipo della piattaforma stradale in rettifilo.

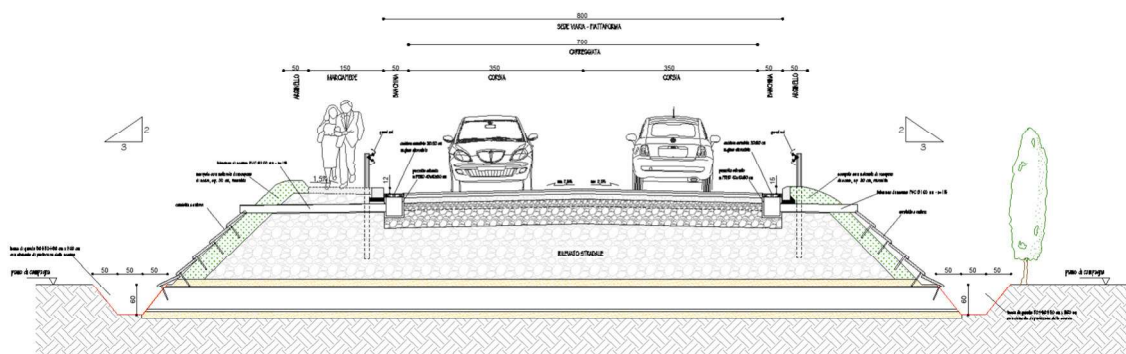


Figura 5: Sezione tipo in rettifilo (Tav.11)

3.3 Descrizione del tracciato stradale

La geometria del tracciato è stata definita rispettando i limiti dinamici e le condizioni ottiche prescritte dalla norma ai fini della sicurezza e del comfort di guida, oltre che dei vincoli della situazione di fatto e delle richieste dell'Amministrazione.

I criteri prestabiliti nel D.M. n. 6792 del 05 novembre 2001 sono stati utilizzati per determinare le lunghezze massime dei rettifili dei raggi di curvatura previsti nei raccordi planimetrici, in funzione della velocità di progetto e delle pendenze trasversali della piattaforma stradale.

L'altimetria dell'asse principale è stata determinata limitando al minimo indispensabile il numero di livellette, in base alle intersezioni con la rete viaria esistente e verificando che il tracciato stradale risultasse in sicurezza rispetto a tutte le condizioni di contorno (caratteristiche geomorfologiche del sito, pericolosità idraulica, ecc.).

Le caratteristiche geometriche dell'asse della soluzione progettuale adottata possono essere riassunte con i seguenti dati:

- Progressiva di inizio lotto: 0+000 km
- Progressiva di fine lotto: 0+400.000 km
- Quota altimetrica di progetto inizio lotto: 175.00 m slm
- Quota altimetrica di progetto fine lotto: 149.53 m slm
- Pendenza longitudinale massima: 11.00%
- Pendenza minima: 8.50%

La zona in cui verrà realizzato l'intervento è collinare, quindi l'andamento sarà costituito da tre livellette, aventi pendenze rispettivamente pari a 10,7%, 8,5% e 11% (con deroga dell'1% prevista dalla normativa), come si evince dalla "*Tav. 10 – Profilo longitudinale stato di progetto*" (Figura 7).

Data la morfologia della zona, dati i vincoli imposti dalle quote della rete stradale esistente, il percorso altimetrico dall'asse viario in progetto sarà praticamente quasi interamente in rilevato, con altezze inferiori ai 2,00 metri rispetto al piano campagna circostante, fatta eccezione per le porzioni di percorso individuate dai dintorni delle sezioni 8, 12 e soprattutto nella rampa finale (sezioni 20-21-22), in cui si raggiungerà un'altezza massima di rilevato anche maggiore a 3,00 metri, ma con l'aiuto di opere di sostegno come una paratia di pali in c.a. e la realizzazione di un sottopasso carrabile mediante la posa di elementi scatolari prefabbricati.

3.4 Andamento altimetrico dell'asse

3.4.1 Livellette

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

Le pendenze massime da non superare nei diversi tipi di strada sono indicate nella tabella della Figura 6 seguente:

Tipo di strada	extraurbana	urbana
Autostrada (A)	5 %	6 %
Principale (B)	6 %	-
Secondaria (C)	7 %	-
Scorrimento (D)	-	6 %
Quartiere (E)	-	8 %
Locale (F)	10 %	10 %

Figura 6: valori massimi della pendenza longitudinale

La norma permette di aumentare di una unità i suddetti valori massimi di pendenza qualora risulti che lo sviluppo della livelletta sia tale da non penalizzare eccessivamente la circolazione in termini di riduzione della velocità e della qualità del deflusso.

L'asse viario in progetto è suddivisibile in 3 segmenti, raggruppati in 3 livellette, così come illustrato nella tabella sottostante:

Codice segmento	Intersezione iniziale	Intersezione finale	Quota iniziale (m s.l.m.)	Quota finale (m s.l.m.)	Lunghezza segmento (m)	Pendenza (%)
Tratto 1	Via di Mezzo – Parcheggio Magrina	-	175,00	158,62	152,73	10,7
Tratto 2	-	-	158,62	145,34	156,26	8,5
Tratto 3	-	Via di Fabbrica	145,34	149,53	36,00	11,0

Tab. 1: andamento altimetrico dell'asse viario

Il tracciato della nuova infrastruttura presenta pendenze elevate a causa della conformazione e della morfologia attuale, ma risultando entro i limiti imposti da normativa sfruttando anche la deroga dell'1% ammissibile.

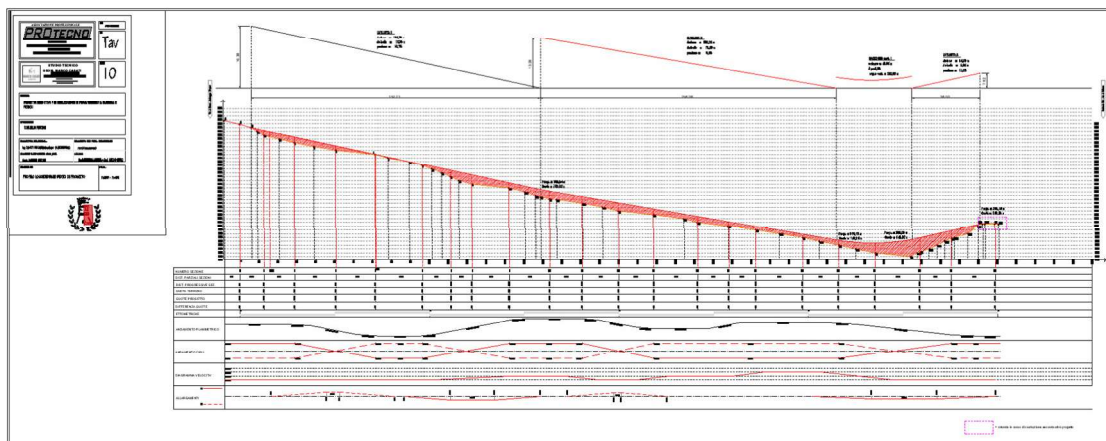


Figura 7: Tav. 10 – Profilo longitudinale stato di progetto

3.4.2 Raccordi verticali

I raccordi verticali devono essere eseguiti con archi di parabola quadratica ad asse verticale il cui sviluppo viene calcolato con l'espressione:

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

in cui Δ_i è la variazione di pendenza delle livellette (%), R_v è il raggio del cerchio osculatore.

Il raggio verticale minimo ($R_{v,min}$) si determina con tre criteri:

- 1) il veicolo non deve toccare la superficie stradale (criterio geometrico), quindi: $R_{v,min}=40$ metri nelle sacche e $R_{v,min}=20$ metri nei dossi;
- 2) l'accelerazione verticale a_v non deve superare $0,6 \text{ m/s}^2$ (criterio di comfort), quindi: $R_v \geq \frac{v_p^2}{a_{v,lim}}$;
- 3) devono essere soddisfatte le verifiche di visibilità (criterio della visibilità), che in caso di raccordo concavo (come nel caso in progetto), nel quale non ci sono problemi di visibilità diurna, occorre soltanto verificare che di notte i fari abbaglianti siano in grado di illuminare un tratto di strada lungo almeno quanto la distanza di visibilità per l'arresto.

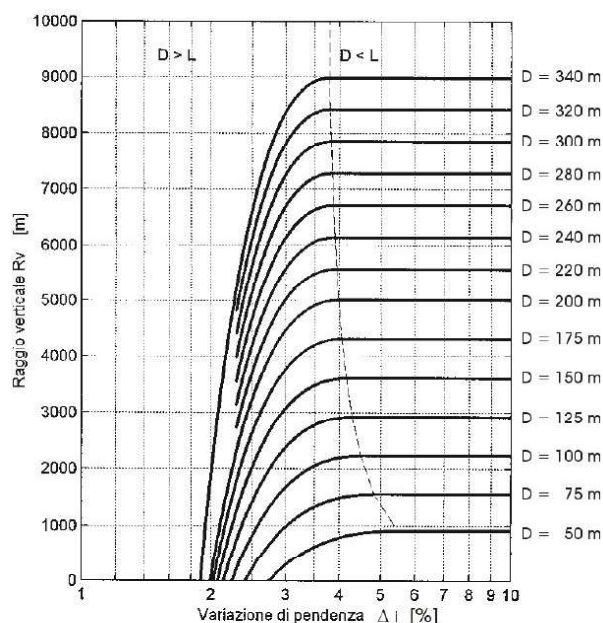


Figura 8: diagramma per determinazione di $R_{v,min}$ garantendo la distanza di visibilità per arresto (raccordo concavo)

Δi (%)	D (m)	50	75	100	125	150	175	200	225
0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	44.94	363.05
2.5	0.00	210.78	814.38	1417.97	2021.57	2625.16	3228.76	3832.35	
3	282.77	979.71	1676.65	2373.59	3070.53	3767.47	4464.42	5161.36	
4	784.06	1488.59	2193.12	2897.65	3602.18	4306.70	5011.26	5717.25	
5	901.80	1554.61	2226.67	2913.06	3607.78	4307.75	5011.26	5717.25	
6	910.58	1554.61	2226.67	2913.06	3607.78	4307.75	5011.26	5717.25	
7	910.58	1554.61	2226.67	2913.06	3607.78	4307.75	5011.26	5717.25	
8	910.58	1554.61	2226.67	2913.06	3607.78	4307.75	5011.26	5717.25	
9	910.58	1554.61	2226.67	2913.06	3607.78	4307.75	5011.26	5717.25	
10	910.58	1554.61	2226.67	2913.06	3607.78	4307.75	5011.26	5717.25	

Figura 9: valori di $R_{v,min}$ per garantire la distanza di visibilità per l'arresto (raccordo concavo)

Il raccordo verticale n. 1, tra la livelletta n. 2 e la livelletta n. 3, avrà un raggio verticale pari a 220 metri che soddisfa tutte le suddette verifiche, con uno sviluppo conseguente di 40,06 metri.

Per ulteriori approfondimenti relativi all'andamento altimetrico della nuova infrastruttura si rimanda all'elaborato grafico di dettaglio (*Tav. 10: Profilo longitudinale – stato di progetto*).

3.5 Andamento planimetrico dell'asse

Il tracciato planimetrico è costituito da una successione di rettifili, curve circolari e di clotoidi. Tra rettifilo e curva la normativa stradale impone

l'inserimento di clotoidi, qualsiasi sia il raggio delle curve o qualsiasi sia il tipo di strada (extraurbana o urbana).

3.5.1 Rettifili

Secondo il D.M. n. 6792 del 5/11/2001, un rettifilo, per essere percepito tale dall'utente, deve avere una lunghezza minima commisurata alla velocità di progetto, quindi deve essere non inferiore ai valori riportati nella tabella seguente:

Velocità (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Lunghezza minima (m)	30	40	50	65	90	115	150	190	250	300	360

Tab. 2: lunghezze minime 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:

$$L_r = 22 \times V_{pMax} = 1320 \text{ m}$$

in cui V_{pMax} è il limite superiore dell'intervallo di velocità di progetto associato al tipo di strada, che nel caso specifico risulta essere pari a 60 km/h.

3.5.2 Curve circolari

Le curve circolari devono essere progettate e dimensionate in modo da garantire il rispetto dei seguenti requisiti:

- sicurezza della circolazione;
- comfort di marcia.

Il parametro geometrico che caratterizza le curve circolari è il raggio di curvatura R. Per strade di tipo F "locali" il D.M. 5/11/2001 prescrive un raggio di curvatura planimetrico minimo pari a 19 metri.

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.

$$L_{min} = Sv_{min} = \frac{v_p}{3,6} \times t \text{ con } t = 2,5 \text{ secondi}$$

Nella tabella 3 sottostante sono riportati i valori dello sviluppo minimo delle curve in funzione del raggio.

Tabella per strade urbane di quartiere e locali (E, F)

R (m)	pt (%)	Vp (km/h)	Svmin (m)
20	3.50	25.4	17.66
30	3.50	30.9	21.48
40	3.50	35.5	24.65
50	3.50	39.5	27.41
60	3.50	43.1	29.91
70	3.50	46.4	32.20
80	3.50	49.4	34.31
90	3.50	52.3	36.29
100	3.50	54.9	38.14
125	3.42	60.0	41.67
150	3.04	60.0	41.67
175	2.75	60.0	41.67
200	2.53	60.0	41.67
250	2.50	60.0	41.67
300	2.50	60.0	41.67
350	2.50	60.0	41.67
400	2.50	60.0	41.67
450	2.50	60.0	41.67
500	2.50	60.0	41.67
600	2.50	60.0	41.67
700	2.50	60.0	41.67
800	2.50	60.0	41.67
900	2.50	60.0	41.67
1000	2.50	60.0	41.67
1500	-2.50	60.0	41.67
2000	-2.50	60.0	41.67
3000	-2.50	60.0	41.67

Tab. 3: relazione tra raggio, pendenza trasversale, velocità di progetto, sviluppo minimo di una curva circolare per le strade di tipo E-F urbane.

Nel caso di strade di nuova costruzione la norma non ammette combinazioni di raggio e di pendenza trasversale diverse da quelle riportate nella tabella di cui sopra.

Non è quindi consentita la riduzione della pendenza trasversale allo scopo di diminuire la velocità di progetto di una determinata curva.

Tra un rettifilo di lunghezza L_r e i raggi delle curve precedente e seguente deve essere rispettata la relazione (per tutti i tipi di strada):

$$R > L_r \text{ per } L_r < 300 \text{ m}$$

$$R > 400 \text{ m per } L_r \geq 300 \text{ m}$$

3.5.3 Pendenze trasversali

Per ogni tipologia di strada la pendenza trasversale minima in rettifilo, necessaria per l'allontanamento delle acque piovane, è del 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.

Essa dipende dal raggio e dal tipo di strada: infatti ai differenti tipi di strada sono associati una velocità di progetto massima ($V_{p,max}$) e una pendenza trasversale massima ($p_{t,max}$).

La pendenza trasversale massima vale 3,5 % per le strade di tipo F urbane. Dall'equazione di equilibrio del veicolo in curva si deduce la seguente relazione tra velocità di progetto della curva V_p (km/h), raggio curva R (m), pendenza trasversale massima q e coefficiente di aderenza trasversale f_t :

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

Il coefficiente f_t dipende dalla velocità (decresce all'aumentare della velocità), e dal tipo di strada (i coefficienti sono diversi per gli ambiti extraurbano e urbano).

I valori di f_t sono riportati nella tabella seguente:

Velocità (km/h)	25	40	60	80	100	120	140
Aderenza trasv. max $f_{t,max}$ per strade tipo A-B-C-F extraurbane e strade di servizio	-	0,21	0,17	0,13	0,11	0,10	0,09
Aderenza trasv. max $f_{t,max}$ per strade tipo D-E-F urbane e strade di servizio	0,22	0,21	0,20	0,16	-	-	-

Tab. 4: valori tabulati del coefficiente di aderenza $f_{t,max}$

La normativa impone un raggio minimo R_{min} delle curve circolari come elemento "restrittivo" del tracciato planimetrico di progetto, pari a:

$$R_{min} = \frac{V_{P,min}^2}{127 \times [q_{max} + f_{t,max}]}$$

in cui:

$V_{P,min}$ = limite inferiore della velocità di progetto (25 km/h)

q_{max} = massima pendenza trasversale (3,5%)

$f_{t,max}$ = quota massima di coeff. aderenza impiegabile trasversalmente (0,22)

Per strade di tipo F "locali" il D.M. 5/11/2001 prescrive un raggio di curvatura planimetrico minimo pari a 19 metri.

3.5.4 Clotoidi

Le clotoidi sono curve a raggio variabile che vengono utilizzate nei tracciati stradali con i seguenti scopi:

- ridurre l'effetto della variazione dell'accelerazione centrifuga (contraccollo);
- consentire la rotazione graduale della sagoma con pendenza limitata cigli;
- favorire la corretta percezione della curvatura dell'asse.

La clotoide ha la seguente equazione intrinseca:

$$\frac{1}{r} = \frac{s}{A^2}$$

in cui r=raggio e s=ascissa curvilinea.

Le dimensioni di una clotoide dipendono dal parametro di scala A, per il quale la norma impone tre criteri di scelta:

CRITERIO 1 – LIMITAZIONE DEL CONTRACCOLPO

Limitazione del valore del contraccollo: $A_{\min,1} \geq 0,021 \cdot V_{p,\max}^2$

CRITERIO 2 – SOVRAPENDENZA DEI CIGLI

Sovrapendenza longitudinale della linea di estremità della carreggiata: $A \geq A_{\min,2} = \sqrt{\frac{R}{\Delta l_{\max}} \cdot 100 \cdot B_l \cdot (q_l + q_f)}$

CRITERIO 3 – CORRETTA PERCEZIONE OTTICA DEL TRACCIATO

Per garantire la **percezione** ottica del raccordo e della curva circolare: $\frac{R}{3} \leq A \leq R$

$A \geq A_{\min} = \max(A_{\min,1}, A_{\min,2})$

$A_{\min} = 0,021 \times V_p^2 \quad \text{e} \quad \frac{R}{3} \leq A \leq R$

Nel progetto esecutivo in oggetto si è utilizzato il metodo "a raggio conservato" per l'inserimento di una clotoide tra un rettilo ed una curva circolare, metodo secondo il quale rimane costante il raggio R_0 della curva circolare e la posizione del centro trasla lungo la bisettrice.

3.5.5 Allargamento della carreggiata in curva

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

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

Se l'allargamento E , così calcolato, è inferiore a 20 cm, la corsia conserva la larghezza che ha in rettilo.

Ciò significa che per i raggi superiori a 225 metri l'allargamento delle corsie non è necessario.

In tabella 5 sono riportati i valori dell'allargamento in funzione del raggio.

R (m)	40	60	80	100	125	150	175	200	225
e (m)	1.13	0.75	0.56	0.45	0.36	0.30	0.26	0.23	0.20

Tab. 5: allargamento di una corsia in curva

Nel caso di clotoide tra rettilo e curva, l'allargamento parte 7,50 metri prima dell'inizio della curva di raccordo e termina 7,50 metri dopo il punto finale del raccordo.

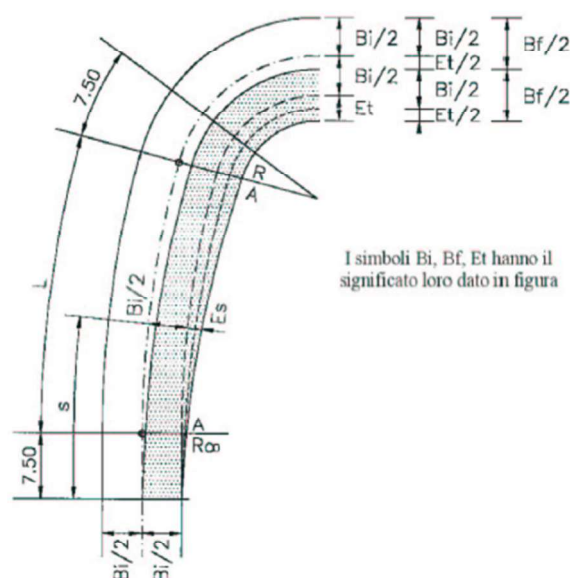


Figura 10: modalità di introduzione dell'allargamento in curva.

La norma consente in ogni caso di ridurre il valore dell'allargamento, 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.

Svolte tutte le suddette verifiche, il progetto del tracciato planimetrico stradale è riportato nella "Tav 14: Profilo planimetrico e verifiche stradali D.M. n. 6792 del 5/11/2001", dalla quale è estratta la Figura 11 seguente.

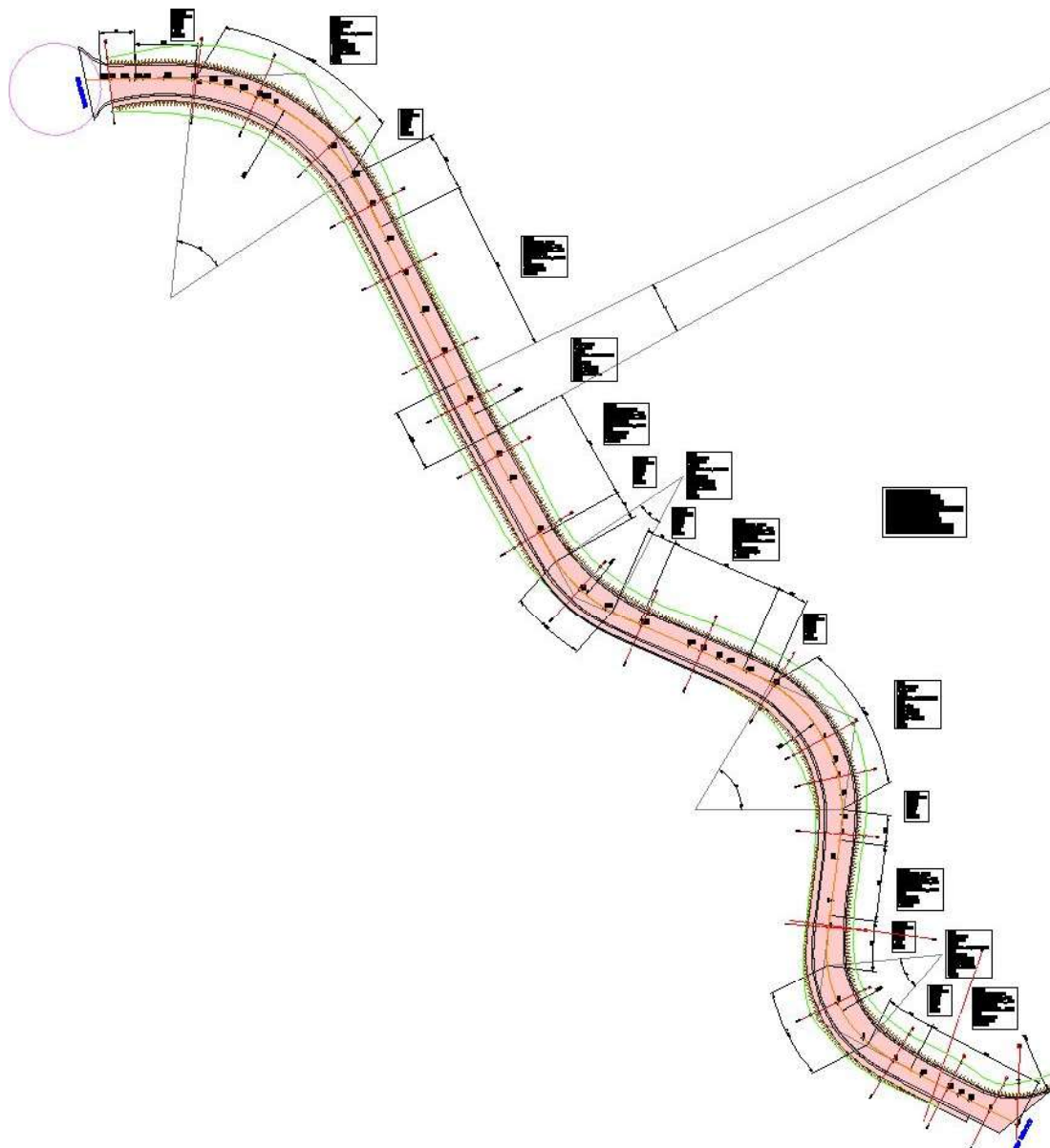


Figura 11: profilo planimetrico di progetto (Tav. 14)

La tabella contenuta nella Figura 12 sottostante sintetizza le caratteristiche dei rettifili della soluzione progettuale adottata nel presente progetto.

RETTIFILLO	Velocità di progetto Vp (km/h)	Pendenza trasversale minima pt,min (%)	Pendenza trasversale massima pt,max (%)	Pendenza trasversale di progetto pt (%)	Verifica pendenza trasversale	Lunghezza minima (m)	Lunghezza massima (m)	Lunghezza di progetto Lr (m)	Verifica lunghezza
R1	30	2,5	3,5	2,5	OK	20	660	31,91	OK
R2	30	2,5	3,5	2,5	OK	20	660	20,1	OK
R3	40	2,5	3,5	2,5	OK	30	880	30,04	OK
R4	40	2,5	3,5	2,5	OK	30	880	30,01	OK
R5	50	2,5	3,5	2,5	OK	40	1100	45,95	OK

Figura 12: verifiche rettifili

La tabella contenuta invece nella Figura 13 seguente sintetizza le caratteristiche delle curve del tracciato planimetrico progettato.

CURVA	Velocità di progetto Vp (km/h)	raggio minimo (m)	Lunghezza rettifilo prec. (m)	Lunghezza rettifilo succ. (m)	raggio di progetto R (m)	Verifica raggio	sviluppo minimo Lmin (m)	Sviluppo di progetto L (m)	Verifica sviluppo	pendenza pt di progetto (%)	Allargamento Δi di progetto (cm)
C1	30	19	30,50	30,06	30,60	OK	20,83	31,91	OK	3,5	140
C2	30	19	30,06	38,16	39,00	OK	20,83	40,15	OK	3,5	111
C3	30	19	38,16	33,67	40,50	OK	20,83	20,85	OK	3,5	111
C4	20	19	33,67	53,78	330,00	OK	11,94	16,56	OK	2,5	-
C5	30	19	53,78	20,83	58,00	OK	20,83	50,46	OK	3,5	80

Figura 13: verifiche curve

Infine la tabella contenuta nella Figura 14 seguente sintetizza le caratteristiche delle clotoidi del tracciato planimetrico progettato.

CLOTOIDE RACCORDO	Raggio (m)	parametro A	arretramento centro di curvatura ΔR (m)	arretramento lungo bisettrice Δb (m)	arretramento lungo tangente Δt (m)	angolo deviazione finale τ (°)	Sviluppo di progetto clotoide S_v (m)
CR1-CR2	30,60	20	0,23	0,28	0,16	45,70	13,10
CR3-CR4	39,00	20	0,11	0,14	0,08	7,45	10,26
CR5-CR6	40,50	20	0,10	0,11	0,04	7,00	9,88
CR7-CR8	58,00	30	0,17	0,20	0,11	55,40	15,52

Figura 14: verifiche clotoidi di raccordo

3.5.6 Distanze di visibilità

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.

Lungo il tracciato stradale la distanza di visuale libera deve essere confrontata con le seguenti distanze:

- Distanza di visibilità per l'arresto, che è lo spazio minimo necessario affinché un conducente possa arrestare il veicolo in condizione di sicurezza davanti ad un ostacolo imprevisto.
- Distanza di visibilità per il sorpasso, che è lo spazio 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 lo spazio occorrente per il passaggio da una corsia a quella ad essa adiacente nella manovra di deviazione in corrispondenza di punti singolari (intersezioni, uscite, ecc.). La strada in progetto, come si desume dalla "Tav. 15 Segnaletica orizzontale e verticale", non prevede la possibilità di sorpassi, avendo previsto una striscia di mezzzeria continua su tutto il tracciato, né di cambiamenti di corsia.

La distanza di visibilità per l'arresto corrisponde alla somma dello spazio di reazione, ovvero dello spazio percorso dal veicolo mentre il conducente percepisce e reagisce, e dello spazio di frenatura.

Essa si valuta con la seguente espressione:

$$D_a = D_1 + D_2 = \frac{V_0}{3.6} \tau - \frac{1}{3.6^2} \int_{v_0}^{v_i} \frac{V}{g \left(f_1(V) \pm \frac{i}{100} \right) + \frac{R_a(V)}{m} + r_0(V)} dV ;$$

in cui:

D_1 = spazio percorso nel tempo di reazione;
 D_2 = spazio di frenatura;
 V_0 = velocità del veicolo all'inizio della frenatura, pari alla velocità di progetto desunta puntualmente dal diagramma delle velocità [km/h];
 V_1 = velocità finale del veicolo ($V_1 = 0$) [km/h];
 i = pendenza longitudinale del tracciato [%];
 τ = tempo complessivo di reazione (percezione, riflessione, reazione e attuazione) [s];
 g = accelerazione di gravità [m/s^2];
 R_a = resistenza aerodinamica [N];
 m = massa del veicolo [kg];
 f_l = coefficiente di aderenza longitudinale;
 r_0 = resistenza unitaria al rotolamento, trascurabile ($r_0=0$) [N/kg].

La formula della distanza di visibilità per l'arresto considera un tempo di reazione e una resistenza aerodinamica variabili con la velocità.

Inoltre lo spazio di frenatura non si valuta nell'ipotesi di decelerazione costante, bensì nel caso di decelerazione variabile in funzione della velocità. Per tali motivi il calcolo della distanza di visibilità per l'arresto avviene attraverso un integrale avente come variabile la velocità.

Il tempo di reazione diminuisce al crescere della velocità, nell'assunzione che il guidatore al crescere della velocità aumenti l'attenzione:

$$\tau = (2.8 - 0.01 \times V)$$

La resistenza aerodinamica si valuta in base ad alcune ipotesi riguardanti il coefficiente aerodinamico, la superficie del veicolo, la massa.

Si ottiene così:

$$\frac{R_a}{m} = 2.61 \cdot 10^{-5} V^2.$$

Nella tabella seguente sono riportati i valori del coefficiente di aderenza longitudinale che devono essere utilizzati per il calcolo delle distanze di visibilità per l'arresto sulle autostrade (strade tipo A) e sulle altre strade.

Il coefficiente f_l diminuisce all'aumentare della velocità e assume valori maggiori nelle autostrade, in quanto si presuppone che in tali tipi di strada le pavimentazioni siano di migliore qualità e che la manutenzione venga effettuata con maggiore regolarità.

I valori di f_l rappresentano l'aderenza disponibile su una superficie stradale leggermente bagnata (spessore del velo idrico di 0.5 mm).

Sull'asciutto i coefficienti di aderenza sono decisamente maggiori ($f_l=0.6\div0.8$) e quindi comportano distanze di visibilità per l'arresto inferiori. Pertanto ai fini della valutazione delle distanze di visibilità per l'arresto la pavimentazione viene considerata bagnata.

VELOCITA' km/h	25	40	60	80	100	120	140
f_l Autostrade	-	-	-	0.44	0.40	0.36	0.34
f_l Altre strade	0.45	0.43	0.35	0.30	0.25	0.21	-

Figura 6: valori del coefficiente di aderenza longitudinale per autostrade e altre strade

In Figura 15 sono rappresentati i valori della distanza di visibilità per l'arresto in funzione della pendenza per diverse velocità di progetto nel caso di strade diverse dalle autostrade.

Gli stessi valori sono riportati in Figura 16.

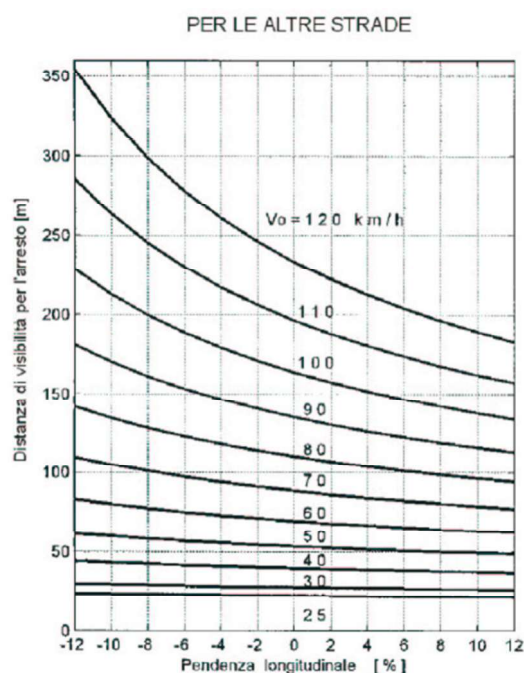


Figura 7: diagramma distanza di visibilità per l'arresto in funzione di pendenza longitudinale e velocità di progetto

Vp (km/h)	-12	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10	12
25	25.14	24.71	24.34	24.00	23.69	23.41	23.16	22.93	22.72	22.52	22.34	22.17	22.01
30	31.56	30.94	30.40	29.91	29.47	29.06	28.70	28.36	28.06	27.77	27.51	27.27	27.04
35	38.50	37.66	36.91	36.23	35.63	35.07	34.57	34.11	33.69	33.30	32.94	32.61	32.30
40	46.01	44.89	43.89	43.00	42.19	41.46	40.79	40.19	39.63	39.12	38.64	38.20	37.80
45	54.22	52.76	51.46	50.30	49.26	48.31	47.45	46.66	45.94	45.28	44.67	44.10	43.58
50	63.33	61.44	59.77	58.27	56.93	55.72	54.62	53.62	52.70	51.86	51.08	50.37	49.70
55	73.55	71.11	68.97	67.06	65.35	63.81	62.41	61.15	59.99	58.93	57.96	57.05	56.22
60	84.98	81.86	79.12	76.70	74.54	72.60	70.86	69.27	67.83	66.51	65.30	64.18	63.15
65	97.61	93.67	90.22	87.19	84.50	82.10	79.94	77.99	76.21	74.59	73.10	71.74	70.48
70	111.55	106.62	102.35	98.60	95.29	92.35	89.70	87.32	85.16	83.20	81.40	79.75	78.23
75	126.98	120.87	115.61	111.02	106.99	103.41	100.21	97.34	94.74	92.38	90.23	88.25	86.44
80	143.70	136.24	129.86	124.32	119.46	115.17	111.35	107.93	104.85	102.05	99.50	97.17	95.03
85	162.42	153.34	145.60	138.93	133.11	127.99	123.45	119.39	115.74	112.44	109.44	106.70	104.20
90	182.90	171.92	162.63	154.66	147.75	141.69	136.33	131.56	127.28	123.43	119.93	116.74	113.83
95	205.54	192.32	181.22	171.75	163.58	156.45	150.16	144.59	139.60	135.11	131.06	127.37	124.00
100	230.70	214.81	201.57	190.36	180.74	172.37	165.04	158.55	152.76	147.57	142.89	138.64	134.76
105	257.98	239.06	223.43	210.27	199.02	189.30	180.80	173.31	166.66	160.69	155.32	150.46	146.04
110	288.21	265.72	247.29	231.88	218.79	207.52	197.71	189.09	181.45	174.63	168.51	162.98	157.95
115	321.05	294.49	272.91	254.99	239.85	226.87	215.63	205.77	197.07	189.31	182.36	176.10	170.42
120	357.12	325.85	300.67	279.90	262.45	247.57	234.72	223.50	213.62	204.84	196.99	189.92	183.53

Figura 8: valori distanza di visibilità per l'arresto in funzione di pendenza longitudinale e velocità di progetto

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 metri 1,10 dal piano viabile.

Verifica di visibilità per l'arresto: la distanza di visibilità per l'arresto deve essere assicurata lungo l'intero tracciato di qualsiasi tipo di strada; l'ostacolo deve essere collocato ad un'altezza di 0.10 m al di sopra dell'asse della corsia. In Figura 18 è rappresentata le modalità di esecuzione della verifica di visibilità per l'arresto.



Figura 9: schema per l'esecuzione della verifica di visibilità per l'arresto

Tutto ciò premesso, le verifiche della distanza di visibilità per l'arresto per la nuova strada locale urbana in progetto sono risultate positive lungo tutto il tracciato.

4. CORPO STRADALE

4.1 Rilevati

Per quanto riguarda la realizzazione dei tratti in rilevato si procederà alla preparazione del piano di posa, procedendo allo scotico del terreno vegetale per uno spessore pari a 20-30 cm e alla gradonatura del piano campagna per garantire il corretto ammorsamento del nuovo rilevato, come si evince dai particolari di scavo contenuti nell'elaborato grafico "*Tav. 11 – Sezione tipo stato di progetto e particolari tipologici*".

Il piano di posa del rilevato stradale dovrà essere adeguatamente compattato con l'impiego di rulli idonei e successivamente si procederà con la realizzazione degli strati del rilevato stradale.

Tutto il piano di posa del rilevato dovrà garantire le prestazioni minime in termini di modulo di deformazione M_d riportate nel Capitolato Speciale d'Appalto in funzione della profondità rispetto al piano di posa della fondazione stradale.

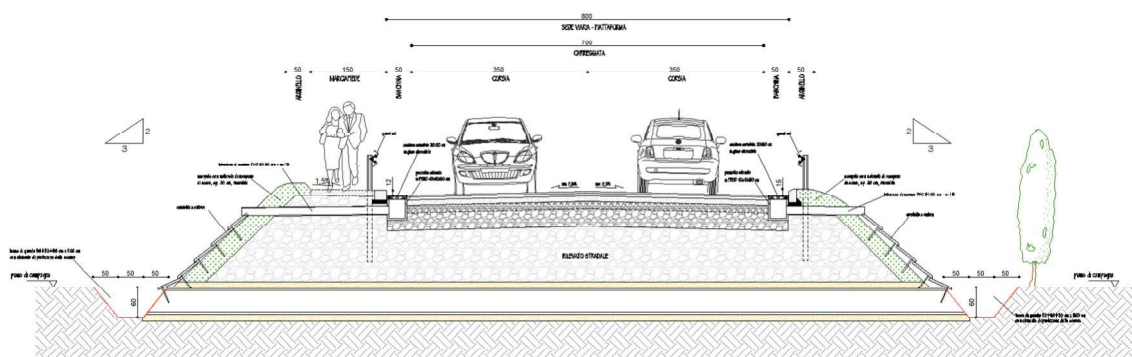


Figura 109: sezione tipo asse stradale

Per la realizzazione del corpo del rilevato saranno impiegati inerti vergini, il cui approvvigionamento avverrà da cave indicate, ad eccezione delle porzioni laterali di confinamento, nelle quali potrà essere riutilizzato il materiale accatastato in cantiere e proveniente dallo scavo di ammorsamento.

Dovranno essere garantite le prestazioni minime riportate nel Capitolato Speciale d'Appalto che, ad esempio, per quanto riguarda le caratteristiche di deformabilità prescrive per gli strati del rilevato, ad eccezione degli ultimi 30 centimetri, un valore del modulo di deformabilità M_d al primo ciclo non

inferiore a 20 MPa (nell'intervallo di carico compreso tra $50 \div 150$ kPa (0,05 e 0,15 N/mm²), (CNR 146 - 1992).

L'ultimo strato di 30 cm, costituente il piano di posa della fondazione della pavimentazione, dovrà, invece, presentare un modulo di deformazione non inferiore a 50 MPa, nell'intervallo compreso tra $50 \div 150$ kPa (0,15-0,25 N/mm²).

5 SOVRASTRUTTURA STRADALE

5.1 Descrizione della pavimentazione stradale

Si riportano di seguito le caratteristiche del pacchetto stradale previsto, rimandando alla specifica relazione di calcolo della pavimentazione per la spiegazione della metodologia impiegata per il dimensionamento.

Per quanto riguarda la viabilità principale in progetto, la sovrastruttura sarà così composta:

- fondazione di spessore totale pari a 50 cm, composta per i primi 35 cm da materiale arido di cava "calcare cavernoso +90" e per i restanti 15 cm di fioritura da materiale arido di cava "stabilizzato 00-30";
- strato di base di spessore pari a 10 cm in conglomerato bituminoso;
- strato di binder di spessore pari a 10 cm in conglomerato bituminoso ad alto modulo;
- trattamento di esfoliazione superficiale della pavimentazione bituminosa tipo "Natural Pavement".

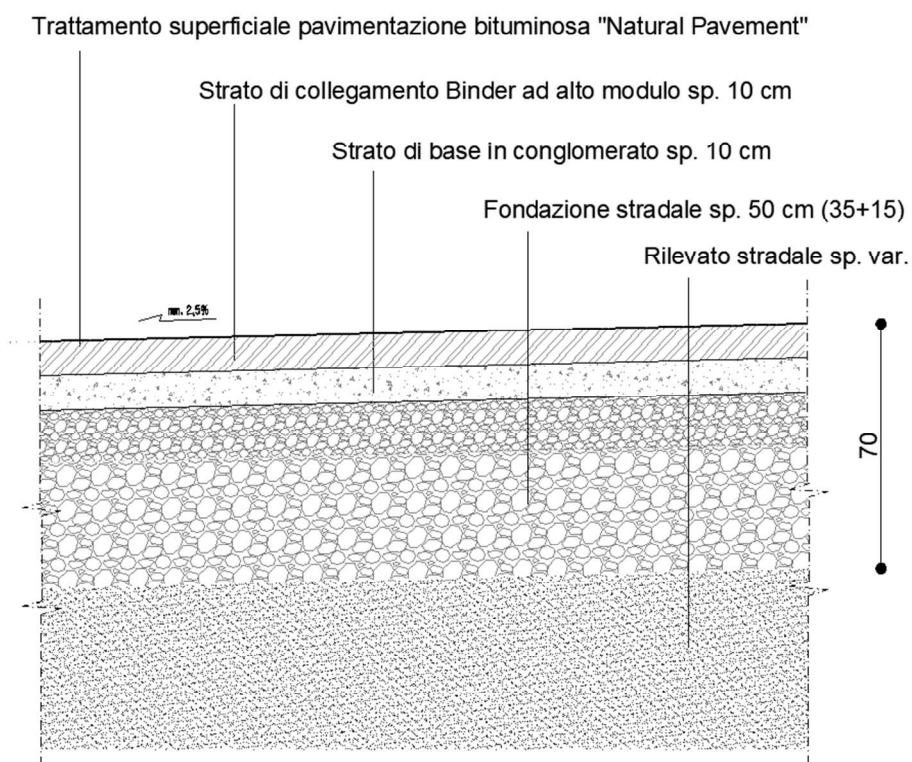


Figura 20: particolare del pacchetto di sovrastruttura stradale

Per quanto riguarda invece gli innesti sulla viabilità esistente, si andranno a gradonare i vari strati in maniera da garantire un'adeguata transizione di

rigidezze tra ciò che sarà di nuova costruzione e l'esistente. Così facendo si eviteranno cedimenti differenziali nel tempo che porterebbero ad un veloce ammaloramento della pavimentazione.

La pavimentazione stradale (o sovrastruttura) è la struttura, sovrapposta al rilevato o al terreno in sito nelle trincee, idonea a garantire il transito dei veicoli secondo le previsioni progettuali.

Le funzioni tradizionalmente attribuite alle pavimentazioni stradali sono:

- ripartire sul terreno sottostante le azioni trasmesse dai veicoli assicurando, in relazione al traffico servito, un'elevata capacità portante in termini di resistenza strutturale e di adeguata risposta deformativa ai carichi applicati;
- proteggere il terreno sottostante dagli agenti atmosferici così da mantenere nel tempo i valori di portanza ed uniformità conferiti al momento della costruzione;
- garantire ai veicoli una superficie di rotolamento regolare, con riferimento agli obiettivi di sicurezza e comfort di marcia.

La pavimentazione stradale è una struttura formata da una successione di strati costituiti da materiali (miscele di aggregati lapidei e di leganti inorganici o idrocarburici) con caratteristiche fisiche e meccaniche diverse, in base alle funzioni che assolvono all'interno della struttura stessa ed al tipo di sollecitazione prevalente indotta dai carichi da traffico.

L'entità delle tensioni diminuisce verso il basso ed il decremento dipende dalla rigidità e dallo spessore del singolo strato.

Gli strati presenti in una sovrastruttura sono:

- strato di usura;
- strato di collegamento;
- strato di base;
- strato di fondazione.

I concetti su cui si basa il processo di dimensionamento sono due:

- Vita utile: periodo di tempo oltre il quale il degrado subito dalla pavimentazione sotto un certo traffico, ne rende necessario il rifacimento;
- Portanza: capacità di una pavimentazione di sopportare i carichi.

In linea di principio il metodo di progetto di una pavimentazione stradale non differisce sostanzialmente da quello di una qualsiasi altra struttura dell'ingegneria civile: note le caratteristiche meccaniche dei materiali da impiegare ed i carichi trasmessi dai veicoli, la sovrastruttura deve garantire un certo livello di integrità entro la cosiddetta vita utile.

In pratica però la grande variabilità dei materiali che possono essere impiegati, la difficoltà di definire compiutamente il danno subito e i livelli di carico, rendono il problema estremamente complesso.

Due sono i punti fondamentali che distinguono il progetto di una pavimentazione stradale da quello di una qualsiasi altra struttura civile:

- la difficoltà di individuare la natura e le caratteristiche intrinseche dei materiali impiegati, estremamente variabili con le condizioni climatiche e con la modalità di applicazione dei carichi;
- il trascurare gli effetti prodotti dal peso proprio, in quanto la loro incidenza sullo stato tenso-deformativo è minimo rispetto a quella dei carichi accidentali (veicoli) e delle condizioni ambientali (temperatura e umidità).

Al giorno d'oggi, grazie alla miglior conoscenza delle caratteristiche meccaniche dei materiali impiegati e alla diffusione del calcolo automatico, è agevole utilizzare i metodi razionali, i quali permettono di tener di conto di tutti i fattori in gioco:

- stato tenso-deformativo prodotto dai carichi da traffico;
- condizioni ambientali;
- caratteristiche dei materiali utilizzati;
- livelli di traffico.

Tuttavia, è sempre possibile utilizzare i metodi empirici di dimensionamento, ossia i metodi basati sull'osservazione sperimentale del comportamento di pavimentazioni esistenti sotto i carichi da traffico, che forniscono sufficienti fattori di sicurezza sul risultato ottenuto.

5.2 Traffico di progetto

Per il dimensionamento della pavimentazione è necessario stabilire il volume di traffico che presumibilmente interesserà la strada durante il periodo di "*vita utile*", in termini sia quantitativi che qualitativi.

A causa della trascurabile influenza che gli autoveicoli hanno sul degrado di una sovrastruttura stradale, la componente di traffico che si considera per il calcolo è solo quella "pesante" ovvero quella composta dai veicoli commerciali (massa complessiva superiore a 3 tonnellate).

Il volume di traffico giornaliero medio (TGM) che impegnerà l'infrastruttura in esame è relativamente minimo ed ammonta a meno di 200 veicoli/giorno. Il dato è stato dedotto, in mancanza di studi di traffico ufficiali, da rilievi diretti.

Il tasso medio di crescita annuo è stato assunto cautelativamente pari a 1%. Sulla base di tali informazioni è possibile calcolare il numero di passaggi di veicoli commerciali che si prevede transiterà sulla corsia di progetto (corsia più sollecitata) durante il primo anno di vita utile della sovrastruttura.

$$n_{veicoli\ anno} = g_l \times TGM \times p_c \times d$$

in cui:

- g_l è il numero di giorni lavorativi in un anno pari a 300
- TGM è il traffico giornaliero medio sull'intera carreggiata
- d è il coefficiente di distribuzione direzionale pari a 0,55

Il numero totale di passaggi di veicoli commerciali al termine della vita utile della pavimentazione è pari a:

$$N_c = n_{veicoli\ anno} \cdot \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

in cui:

- n è il numero di anni di vita utile prevista per la pavimentazione in esame, pari a 20
- r è il tasso di incremento della motorizzazione, pari all'1%.

5.3 Verifica della pavimentazione stradale

La verifica prestazionale, in termini di vita utile, della pavimentazione è stata eseguita utilizzando l'approccio semi-empirico proposto dall'AASHTO (American Association of State Highway and Transport Officials), basata

sull'osservazione diretta del comportamento di strutture già realizzate sotto l'azione di carichi stradali.

Il predimensionamento della pavimentazione è stato eseguito mediante l'utilizzo del "Catalogo delle Pavimentazione Stradali" del C.N.R. (B.U. n. 178/95) redatto dal Consiglio Nazionale delle Ricerche. Ciò al fine di determinare gli spessori di primo tentativo dei vari strati della pavimentazione, da utilizzare nel metodo semi-empirico, riportato nella "AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (1993)" e utilizzato per le verifiche del numero di passaggi di assi equivalenti.

Per la realizzazione della viabilità in oggetto è stata scelta una sovrastruttura flessibile.

Sulla base dei dati di traffico (numero totale dei veicoli commerciali transitanti durante la vita utile della strada, assunta pari a 20 anni), dei valori di portanza richiesti dal capitolato per il sottofondo (Modulo resiliente del sottofondo) e della categoria della strada di progetto (strada extraurbana secondaria a forte traffico e strada urbana di quartiere e locale), il Catalogo, per la sovrastruttura di progetto di tipo flessibile, fornisce gli spessori di seguito riportati.

La sovrastruttura stradale risultante dal predimensionamento è stata quindi verificata e ottimizzata (fino ad ottenere gli spessori di progetto riportati nei paragrafi precedenti) secondo la metodologia proposta dall'AASHTO (American Association of State Highway and Transport Officials), basata sull'osservazione diretta del comportamento di strutture già realizzate sotto l'azione di carichi stradali.

Tale metodo fornisce il numero di passaggi di un asse "standard" (asse singolo con ruote gemellate da 18 kips = 80 kN) che la sovrastruttura stradale è in grado di sopportare raggiungendo un fissato grado di ammaloramento finale (PSI_f = Presente Serviceability Index).

La verifica eseguita con il metodo AASHTO consiste nel controllare che il numero di assi standard che la pavimentazione può sopportare sia maggiore del numero di assi equivalenti che transitano durante la vita utile della pavimentazione, calcolati attraverso lo spettro di traffico riportato nel "*Catalogo delle Pavimentazione Stradali*".

Ciò detto, la verifica effettuata ha permesso di stabilire che il numero di passaggi di assi equivalenti ammessi dalla pavimentazione di progetto risulta ben superiore al numero di passaggi di assi equivalenti calcolati in base al traffico di progetto, quindi la pavimentazione risulta essere verificata.

Peccioli, ottobre 2025

I progettisti

Ing. Francesco Donati e Geom. Marco Casati