

TAU ENGINEERING SRL

Procedimento Unico ex art.53 LR 24/2017

Variante al PUA e PDC OO.UU. Ambito T1_Fontevivo



Progettazione



TAU Engineering srl
p.iva e c.f. 11045890966
t +39 02 26417244

Certificato UNI EN ISO 9001

n° 24163/01/S
emesso da RINA Services SpA

associato



Via Ettore Ciccotti, 3 - 20161 Milano (MI)

tecnico@tauengineering.net
tau@pec.tauengineering.net
www.t-au.com

Direzione tecnica

Committente:

ARA 1965 SPA



Codice elaborato:

D2

Oggetto:

ELABORATI DESCRITTIVI
RELAZIONE TECNICA GENERALE

Revisione:

REV_04092025

INDICE

1. INTRODUZIONE	4
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	8
3. DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO.....	10
3.1. INTERSEZIONE VIA EMILIA – VIA CENTOLANCE	10
3.2. STRADA DEL TORCHIO	11
3.3. AREA COMPRESA TRA VIA EMILIA E STRADA DEL TORCHIO	12
4. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	13
4.1. INTERSEZIONE A ROTATORIA VIA EMILIA-VIA CENTOLANCE- BRETTELLA DI PROGETTO.....	13
4.1.1. Verifiche di visibilità dell'intersezione a rotatoria.....	15
4.1.2. Deviazione delle traiettorie dell'intersezione a rotatoria.....	17
4.1.3. Verifica ingombro mezzi pesanti	22
4.1.4. Smaltimento delle acque meteoriche	23
4.1.5. Barriere stradali.....	23
4.2. INTERSEZIONE BRETTELLA DI PROGETTO-STRADA DEL TORCHIO.....	28
4.2.1. Verifica di visibilità.....	31
4.2.2. Smaltimento delle acque meteoriche	32
4.3. BRETTELLA DI COLLEGAMENTO VIA EMILIA-STRADA DEL TORCHIO.....	33
4.3.1. Criteri e caratteristiche progettuali.....	33

4.3.2. Inquadramento funzionale e sezione trasversale	34
4.3.3. Velocità di progetto	35
4.3.4. Verifiche planimetriche.....	35
4.3.5. Verifiche altimetriche.....	35
4.4. SOVRASTRUTTURA STRADALE	37
4.4.1. METODO AASHTO	37
4.4.2. PAVIMENTAZIONE DI PROGETTO	45

1. INTRODUZIONE

La presente relazione tecnica raccoglie le caratteristiche principali dell'intervento di realizzazione di una nuova bretella stradale di collegamento tra via Emilia e Strada del Torchio in ambito di competenza dei comuni di Fontevivo e Noceto.

L'intervento prevede la riqualificazione dell'intersezione esistente tra la via Emilia e via Centolance e la realizzazione di una nuova intersezione a T tra la bretella di progetto e Strada del Torchio.

L'intervento di riqualificazione dell'intersezione di via Emilia si pone come obiettivo primario quello di riqualificare l'intersezione esistente in relazione alle opere previste dal progetto di attuazione del PUA del Comune di Fontevivo denominato "T1".

Nello specifico, l'intersezione a rotatoria di progetto sarà caratterizzata da un diametro esterno di 40,00 m e da quattro rami, tre dei quali corrispondono alla viabilità esistente di via Emilia e via Centolance, mentre il quarto, verso nord, sarà a servizio della nuova viabilità di collegamento tra via Emilia e Strada Torchio.

L'intersezione a T su Strada del Torchio, invece, è stata progettata sulla base delle indicazioni dello studio prenormativo "Rapporto di Sintesi - Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali", definendo le geometrie dell'isola a goccia al fine di permettere la corretto innesto del nuovo ramo sulla viabilità esistente, tenendo conto delle velocità di progetto desunte dalla geometria stradale dell'infrastruttura esistente e delle verifiche di visibilità che l'intersezione deve soddisfare.



Figura 1 -Planimetria di progetto

Su tale collegamento, fortemente voluto dal Comune di Fontevivo per risolvere alcune delle problematiche viabilistiche dell'area, sono previsti gli accessi delle attività che si insedieranno al seguito dell'attuazione del PUA "T1", in modo tale non interferire con la viabilità della via Emilia.

Allo stesso tempo, come si evince dalle planimetrie di progetto e dall'immagine sottostante, sulla nuova viabilità di collegamento tra via Emilia e Strada Torchio si innesterà la viabilità secondaria a servizio delle attività commerciali situate a ovest del comparto T1 (GPI spa, Residenze Parmensi, etc.), consentendo così di rendere gli accessi dalla via Emilia a tali attività a senso unico in ingresso.

Allo stesso modo, vista la previsione del Comune di Fontevivo di convertire a senso unico strada Ronchi (ulteriore intersezione sulla via Emilia procedendo in direzione Fidenza), la realizzazione della rotatoria permetterebbe la re-immissione in via Emilia degli autoveicoli che transitano tale asse viario.

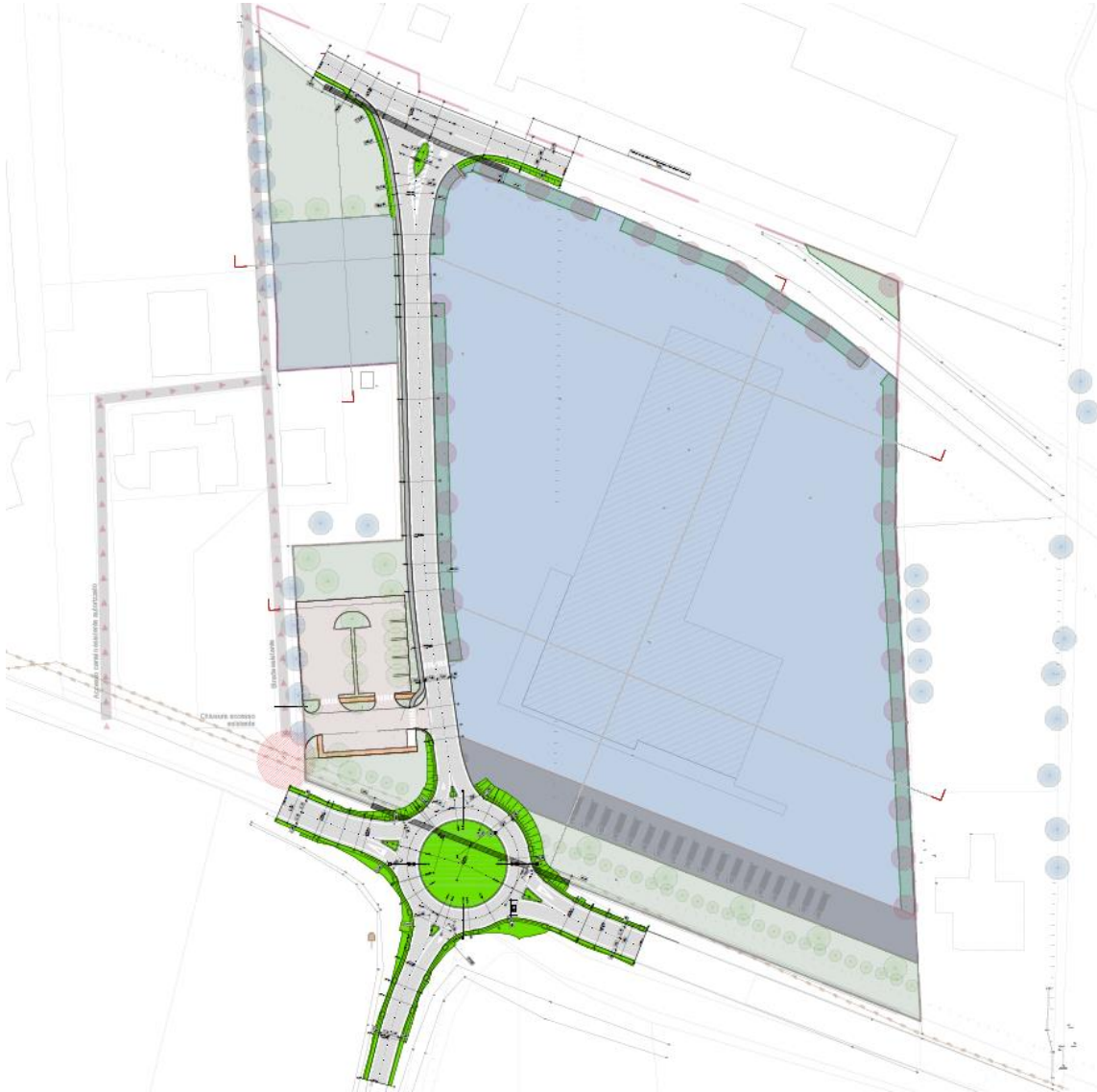


Figura 2 -Planimetria intersezione di progetto

La soluzione adottata, inoltre, consente il posizionamento in asse della rotatoria rispetto alla via Emilia ed il rispetto delle prescrizioni normative lungo tale direzione in materia di deviazione delle traiettorie dei veicoli all'interno della rotatoria.

In sintesi, allo stato attuale:

- l'intersezione di via Centolance con la via Emilia rappresenta una criticità trattandosi di un incrocio a raso con visibilità ridotta data la notevole differenza di quota delle due viabilità; in corrispondenza di tale intersezione vi è un aumento della pericolosità del tratto stradale e gli accessi/recessi sono fonte di rallentamenti del traffico, soprattutto nel caso di svolta in via Centolance dalla via Emilia procedendo in direzione Fidenza e di svolta da via Centolance in via Emilia direzione Fidenza, dato che tali manovre comportano una svolta a sinistra con travalico di carreggiata;
- i due accessi alle attività poste ad ovest del comparto T1, essendo anch'essi intersezioni a raso su viabilità extraurbana dalla notevole intensità di traffico, aumentano la pericolosità del tratto stradale antistante, ne rallentano inoltre lo scorrimento, soprattutto nelle eventualità di ingresso quando si procede sulla via Emilia verso Parma ed immissione in via Emilia in direzione Parma, poiché anche tali manovre comportano una svolta a sinistra con travalico di carreggiata;
- il rettilo in corrispondenza di tali intersezioni ha lunghezza maggiore di 2Km, fattispecie che aumenta la pericolosità del tratto stradale.

L'intersezione di progetto su via Emilia presenta i seguenti vantaggi rispetto allo stato di fatto:

- eliminazione dei punti di conflitto rispetto alle intersezioni a raso regolate da precedenza;
- abbassamento dei livelli di rischio dell'intersezione di via Centolance, convertita da intersezione a raso ad intersezione in rotatoria;
- abbassamento dei livelli di rischio dovuti alla presenza degli incroci a raso ad ovest del comparto "T1", dato che, a seguito dell'intervento, l'accesso agli stessi avverrà con sola svolta a destra senza travalico di carreggiata e la re-immissione in via Emilia avverrà attraverso immissione in rotatoria,
- aumento della scorrevolezza del traffico veicolare sulla via Emilia al seguito dell'eliminazione delle immissioni dagli incroci a raso;
- possibilità di conversione di strada Ronchi in viabilità a senso unico consentendo il solo ingresso dalla via Emilia, riducendo così il grado di pericolosità del tratto stradale e agevolando la percorribilità del traffico;
- interruzione del rettilo esistente, attualmente di lunghezza superiore ai 2 km e conseguente riduzione di pericolosità del tratto;
- alleggerimento del traffico transitante su via Emilia grazie al collegamento con strada del Torchio.

I dettagli relativi alla geometrizzazione dell'intersezione a rotatoria, così come dell'intersezione su Strada del Torchio, e alla verifica dei parametri relativi a visibilità, deviazione e deflessione sono descritti nei capitoli successivi.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Si richiamano a titolo informativo, ma non limitativo, alcune tra le principali norme.

- Decreto legislativo 18 aprile 2016, n. 50 - Attuazione delle direttive 2014/23/UE, 2014/24/UE e 2014/25/UE sull'aggiudicazione dei contratti di concessione, sugli appalti pubblici e sulle procedure d'appalto degli enti erogatori nei settori dell'acqua, dell'energia, dei trasporti e dei servizi postali, nonché per il riordino della disciplina vigente in materia di contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture.
- D.P.R. 207 del 5 ottobre 2010 "Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante «Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE»." e s.m.i.
- D.M. 19 aprile 2006 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali" e s.m.i.
- "Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali - Rapporto di sintesi" del 10.09.2001
- D.M. 5 novembre 2001: "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" e s.m.i.
- Decreto 30 novembre 1999 n. 557 "Regolamento recante norme per la definizione delle caratteristiche tecniche delle piste ciclabili" e s.m.i.
- D.P.R. 24 luglio 1996 n. 503 "Regolamento recante norme per l'eliminazione delle barriere architettoniche negli edifici, spazi e servizi pubblici" e s.m.i.
- D.P.R. 16 dicembre 1992 n. 495 "Regolamento di esecuzione e di attuazione del nuovo codice della strada" e s.m.i.
- D.L. 30 aprile 1992, n. 285: "Nuovo Codice della Strada" e s.m.i.
- Decreto del Ministro dei Lavori Pubblici n. 236 del 14 giugno 1989, "Prescrizioni tecniche necessarie a garantire l'accessibilità, l'adattabilità e la visitabilità degli edifici privati e di edilizia residenziale pubblica, ai fini del superamento e dell'eliminazione delle barriere architettoniche".
- D.M. 21.06.04 "Istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali"
- Ministero dei Lavori Pubblici, "Linee guida per la redazione dei piani della sicurezza stradale urbana"
- DM 18/02/92, n. 223: "Regolamento recante istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza";

- DM 21/06/04: “Aggiornamento delle istruzioni tecniche per la progettazione, l’omologazione e l’impiego e l’impiego delle barriere stradali di sicurezza e le prescrizioni tecniche per le prove delle barriere di sicurezza stradale”;
- UNI EN 1317: “Barriere di sicurezza stradali: parti 1,2,3, e 4”;
- Circolare ministeriale n. 104862 del 15/11/2007 – “Scadenza della validità delle omologazioni delle barriere di sicurezza rilasciate ai sensi delle norme antecedenti il D.M. 21/06/2004”;
- Circolare del Ministero dei Trasporti N. 80173 del 05/10/2010 “Omologazione dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali. Aggiornamento norme comunitarie UNI EN 1317, parti 1, 2 e 3 in ambito nazionale”;
- Circolare del Ministero dei Trasporti N. 62032 del 21/07/2010 “Uniforme applicazione delle norme in materia di progettazione, omologazione e impiego dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali”.
- DM 1 aprile 2019 “Dispositivi stradali di sicurezza per i motociclisti (DSM)”

3. DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO

3.1. INTERSEZIONE VIA EMILIA – VIA CENTOLANCE

Lo stato dei luoghi è caratterizzato dalla presenza di un'intersezione lineare a raso tra via Emilia e via Centolance.

La Via Emilia costituisce l'asse principale della viabilità di tutta l'Emilia-Romagna ed è caratterizzata da una sezione trasversale con corsie di 3,75 m di larghezza e banchine di larghezza variabile tra 1,00 e 1,25 m circa. Invece, via Centolance è caratterizzata da una piattaforma stradale di larghezza di 4,25 m circa.

I flussi di traffico secondari di via Centolance che si immettono su via Emilia sono regolati dalla segnaletica di dare precedenza.

Le acque della piattaforma stradale vengono allontanate mediante la pendenza trasversale a schiena d'asino e scaricate nei fossi di guardia lungo le strade.

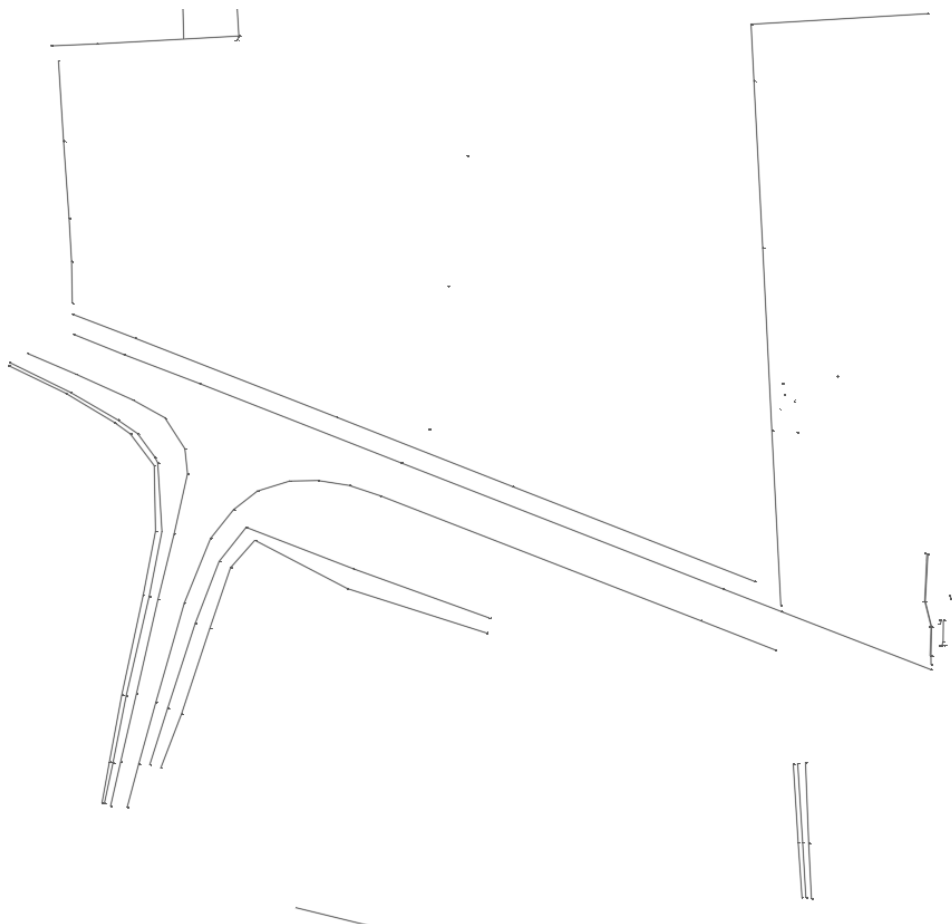


Figura 3 -Rilevo intersezione esistente

La pavimentazione stradale presenta un marcato stato di ammaloramento con fenomeni di rotture a fatica e ormaiamento evidenti.



Figura 4 -Pavimentazione di via Emilia

3.2. STRADA DEL TORCHIO

Strada del Torchio è caratterizzata da una piattaforma stradale di larghezza complessiva pari a 6,50-7,00 m e carreggiata pari a 6,00 m circa.

È presente un'area pavimentata di circa 0,50 m sul lato nord di collegamento al muretto di recinzione esistente a ridosso del quale sono posizionate caditoie con un passo di circa 20,00 m. Sul lato opposto lo smaltimento delle acque viene gestito tramite un fosso di guardia



Figura 5 -Pavimentazione di Strada del Torchi

La pavimentazione stradale presenta un marcato stato di ammaloramento, principalmente con fenomeni di rotture a fatica.

3.3. AREA COMPRESA TRA VIA EMILIA E STRADA DEL TORCHIO

L'area compresa tra via Emilia e Strada del Torchio presenta una configurazione relativamente pianeggiante ed è caratterizzata da un dislivello con via Emilia pari a circa 2,00 m e 1,00 m con Strada del Torchio.



Figura 6 -Campo compreso tra via Emilia e Strada del Torchio

4. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Come anticipato in precedenza, l'intervento comprende le seguenti opere:

- Bretella di collegamento tra Strada del Torchio e Via Emilia
- Intersezione tra bretella di progetto e via Emilia
- Intersezione tra bretella di progetto e Strada del Torchio.

4.1. INTERSEZIONE A ROTATORIA VIA EMILIA-VIA CENTOLANCE-BRETELLA DI PROGETTO

La geometria dell'intersezione e le caratteristiche dell'intervento sono state definite con l'intento di perseguire i seguenti obiettivi:

- rispettare le principali prescrizioni normative in materia di intersezioni a rotatoria;
- riqualificare l'intersezione esistente in relazione alle opere da realizzare in prossimità dell'area;
- ridurre al minimo il consumo di suolo e risorse economiche e naturali.

Secondo quanto previsto dal D.M. 19/04/2006, si considerano tre tipologie fondamentali di rotatorie in base al diametro della circonferenza esterna (limite della corona rotatoria):

- rotatorie convenzionali con diametro esterno compreso tra 40 e 50 m;
- rotatorie compatte con diametro esterno compreso tra 25 e 40 m;
- mini rotatorie con diametro esterno compreso tra 14 e 25 m.

Nel caso in esame, rientriamo nell'ambito delle rotatorie convenzionali, essendo il diametro della corona rotatoria pari a 40,00 m. In base alla classificazione, vengono definiti gli elementi modulari come segue:

Elemento modulare	Diametro esterno della rotatoria (m)	Larghezza corsie (m)
Corsie nella corona rotatoria (*), per ingressi ad una corsia	≥ 40	6,00
	Compreso tra 25 e 40	7,00
	Compreso tra 14 e 25	7,00 - 8,00
Corsie nella corona rotatoria (*), per ingressi a più corsie	≥ 40	9,00
	< 40	8,50 - 9,00
Bracci di ingresso (**)		3,50 per una corsia 6,00 per due corsie
Bracci di uscita (*)	< 25	4,00
	≥ 25	4,50

La sezione tipologica della rotatoria, pertanto, presenta:

- corona giratoria di larghezza pari a 6,00 m;
- banchina esterna di larghezza paria 0,50 m;
- banchina interna di larghezza paria a 0,50 m.

La rotatoria presenta le seguenti caratteristiche geometriche principali:

CARATTERISTICHE ROTATORIA	
D esterno rotatoria	40 m
L corsia rot	6 m
L corsia ingresso	3,5 m
L corsia uscita	4,5 m
RAGGI ENTRATA	
Ambito extraurbano	
Re,2	12 m
Re,1	60 m
RAGGI USCITA	
Ambito extraurbano	
Re,2	14 m
Re,1	56 m

Il layout dell'intersezione presenta quattro bracci afferenti, costituiti a est e a ovest dalla SS 9 – Via Emilia, a sud dalla via Centolance e a nord dall'accesso alla nuova attività da realizzare.



Figura 4: Intersezione a rotatoria

Le caratteristiche geometriche dell'intersezione sono riportate nell'elaborato grafico dedicato.

4.1.1. Verifiche di visibilità dell'intersezione a rotatoria

Per le rotatorie in progetto sono state determinate le distanze di visibilità prendendo a riferimento le prescrizioni di cui al par. 4.6 del D.M. 19/04/2006.

Negli incroci a rotatoria, i conducenti che si avvicinano alla rotatoria devono vedere i veicoli che percorrono l'anello centrale al fine di cedere ad essi la precedenza o eventualmente arrestarsi; sarà sufficiente una visione completamente libera sulla sinistra per un quarto dello sviluppo dell'intero anello, secondo la costruzione geometrica riportata nella figura successiva, posizionando l'osservatore a 15 m dalla linea che delimita il bordo esterno dell'anello giratorio.

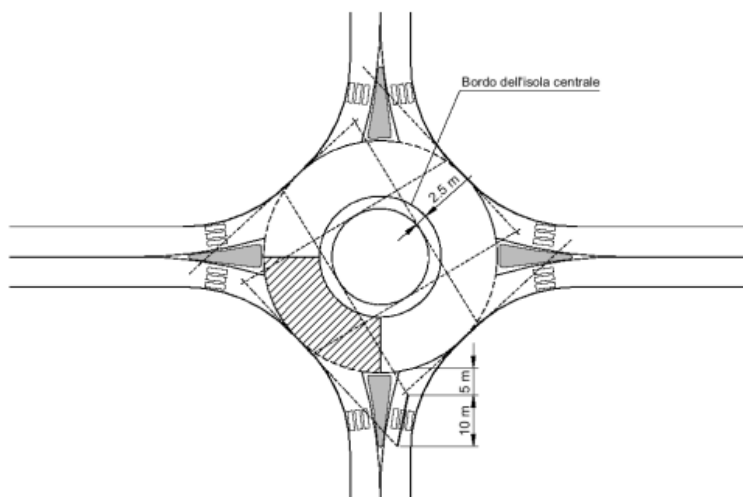


Figura 7: Schema visibilità in rotatoria secondo D.M. 19/04/2006

Come si evince dalla figura precedente, il campo di visibilità si determina convenzionalmente conducendo le tangenti al limite della corona rotatoria e ad un contorno circolare posto 2,5 m all'interno del limite dell'isola centrale a partire dagli estremi di un segmento lungo 10 m posto in asse alla corsia di entrata e distante dal limite della corona giratoria 5 m.

La verifica delle condizioni di visibilità è stata condotta graficamente determinando, per ciascuno dei rami di ingresso, il campo di visibilità sulla base delle prescrizioni di cui al par. 4.6 del D.M. 19/04/2006.

La determinazione grafica dei campi di visibilità è riportata nella figura seguente:

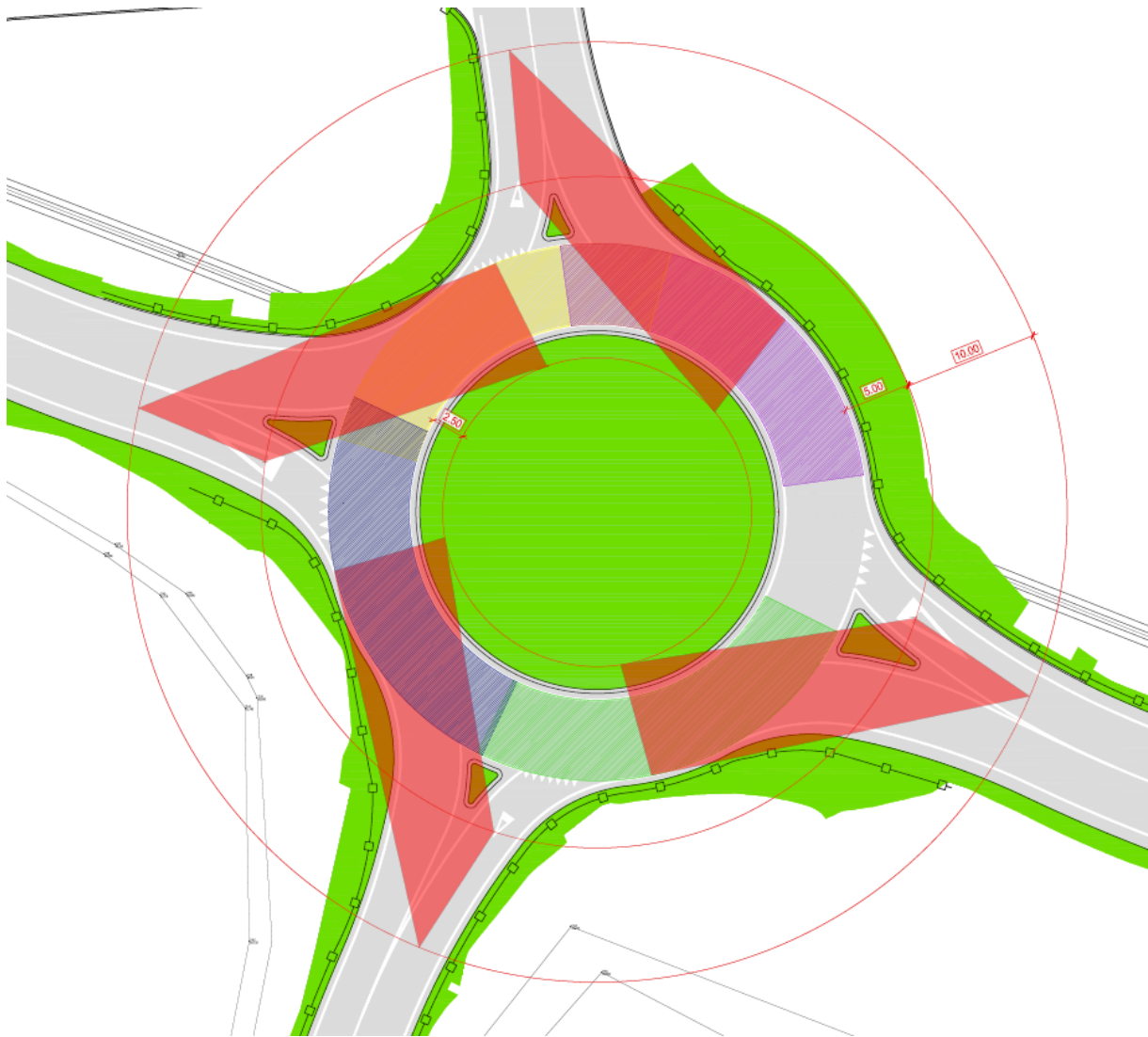


Figura 8: verifica di visibilità su rotonda

Come si evince nell'immagine sopra riportata la verifica di visibilità viene soddisfatta.

4.1.2. Deviazione delle traiettorie dell'intersezione a rotatoria

Il criterio principale per definire la geometria delle rotatorie riguarda il controllo della deviazione delle traiettorie in attraversamento del nodo. Infatti, per impedire l'attraversamento di

un'intersezione a rotatoria ad una velocità non adeguata, è necessario che i veicoli siano deviati per mezzo dell'isola centrale.

La valutazione del valore della deviazione viene effettuata per mezzo dell'angolo di deviazione β di cui alla figura seguente (fig. 11 del D.M. 19/04/2006).

Per determinare la tangente al ciglio dell'isola centrale corrispondente all'angolo di deviazione β , bisogna aggiungere al raggio di entrata $R_{e,2}$ un incremento b pari a 3,50 m. Per ciascun braccio di immissione si raccomanda un valore dell'angolo di deviazione β di almeno 45° .

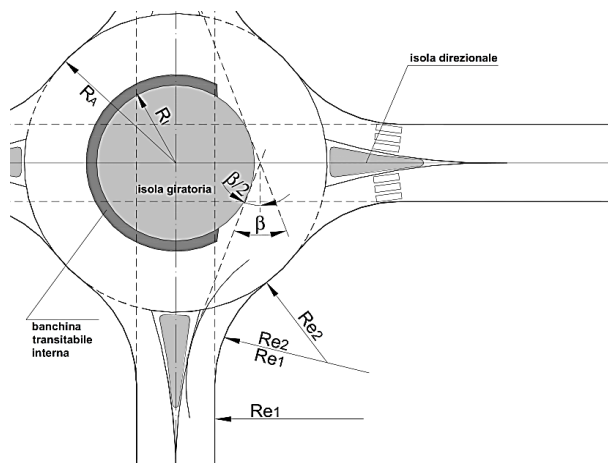


Figura 7: Costruzione geometrica per la determinazione dell'angolo di deviazione β secondo D.M. 19/04/2006

La verifica della deviazione delle traiettorie è stata condotta graficamente determinando il valore dell'angolo β in corrispondenza dei bracci di immissione.

La costruzione geometrica per la valutazione della deviazione delle traiettorie è illustrata nelle figure seguenti.



Figura 8: deviazione delle traiettorie rotatoria

Come si può vedere dall'analisi grafica sopra riportata, non tutti gli angoli di deviazione β risultano essere minori rispetto alle raccomandazioni della Norma. E' stata rispettata la specifica prescrizione da parte di ANAS di soddisfare tale verifica per le due direzioni che interessano via Emilia, nello specifico Via Emilia Est – Via Emilia Ovest e Via Emilia Ovest – Via Emilia Est.

Tuttavia, seguendo le indicazioni dello studio prenormativo *“Rapporto di Sintesi - Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali”*, è stata eseguita un’ulteriore verifica di deflessione. Si definisce in particolare deflessione di una traiettoria il raggio dell’arco di cerchio che passa a 1,50 m dal bordo dell’isola centrale e a 2,00 m dal ciglio delle corsie di entrata e uscita. Tale raggio non deve superare i valori di 100 m ed è preferibile adottare valori sensibilmente inferiori a questo limite massimo.

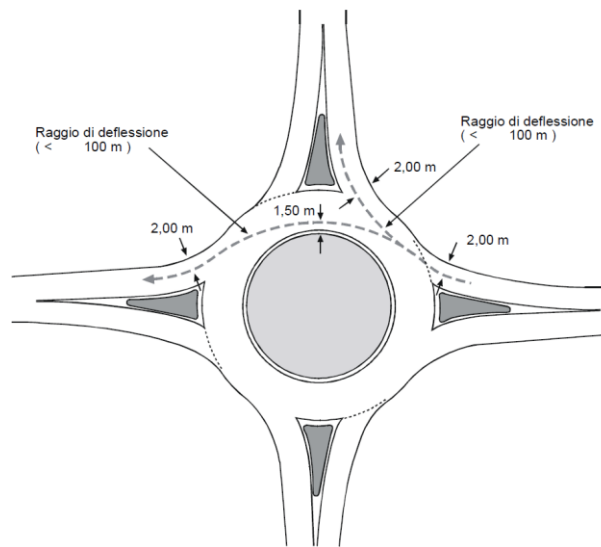


Figura 9: costruzione geometrica per verifica della deflessione delle traiettorie (Studio prenormativo)

Anche tale verifica è stata svolta graficamente e di seguito riportata:



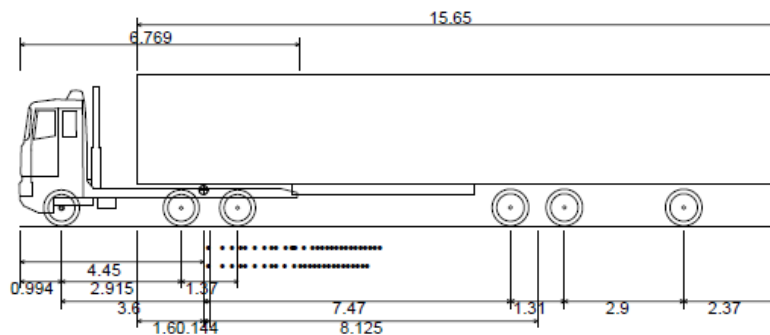
Figura 9: verifica deflessione traiettoria secondo Studio pre-normativo rotatoria

Si ritiene pertanto che la rotatoria di progetto rispetti le prescrizioni normative in termini di limitazione della velocità di percorrenza dei veicoli all'interno della stessa.

4.1.3. Verifica ingombro mezzi pesanti

La manovrabilità in rotatoria da parte degli autoveicoli (mezzi pesanti) viene verificata con l'ausilio del programma Vehicle Tracking che consente di verificare l'ingombro del veicolo scelto dal catalogo a disposizione del programma in relazione.

L'autoarticolato utilizzato per le suddette verifiche è rappresentato nella seguente immagine.



18.5m New longer Semi-trailer (trial version only) Volvo/Muldoon	
Lunghezza complessiva	18.500m
Larghezza complessiva	2.550m
Altezza complessiva scocca	3.693m
Altezza minima da terra scocca	0.331m
Larghezza massima traccia	2.550m
Tempo sterzata completa	4.00 s
Raggio di sterzata da cordolo a cordolo	7.450m

Figura 10 –Veicolo utilizzato nelle verifiche con Vehicle Tracking – Autoarticolato

Segue l'immagine rappresentante le verifiche dell'ingombro dei mezzi pesanti.

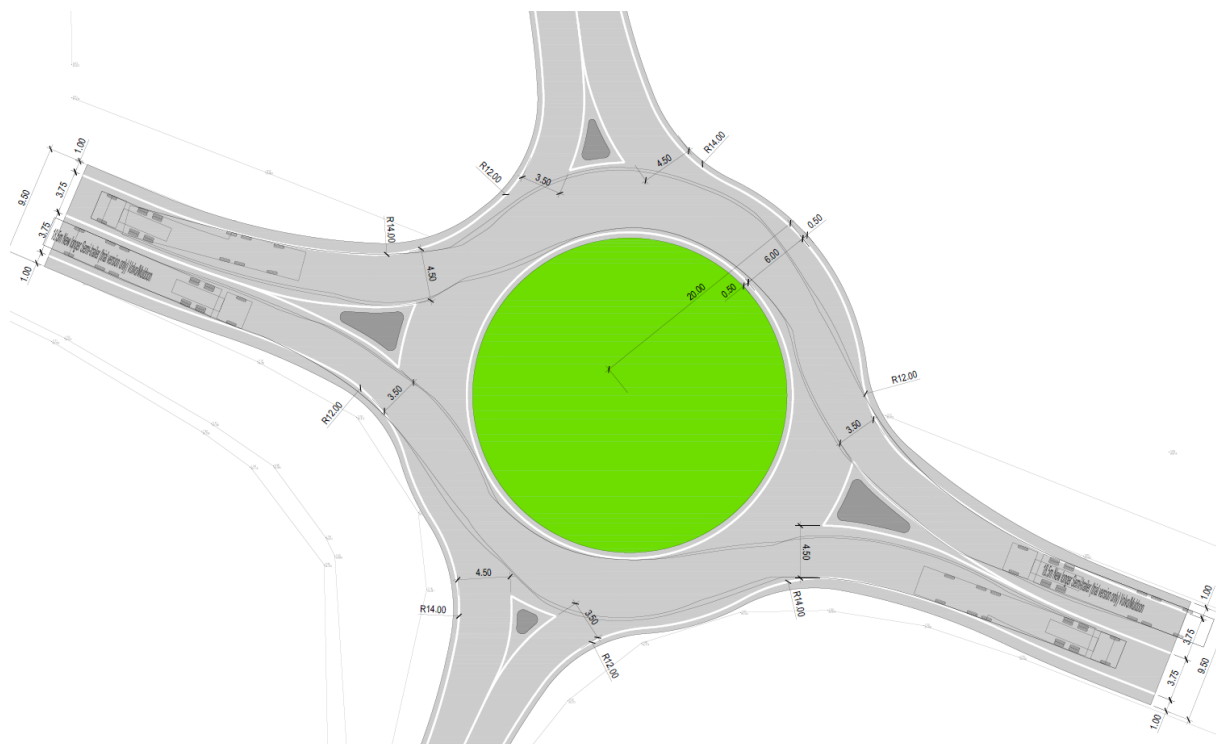


Figura 11: verifica ingombro mezzi pesanti

4.1.4. Smaltimento delle acque meteoriche

Per quanto concerne lo smaltimento delle acque meteoriche, allo stato di fatto, questo è gestito dai fossi di guardia ai piedi del rilevato stradale.

La pendenza trasversale della rotatoria di progetto è rivolta verso l'esterno della stessa e la raccolta delle acque meteoriche di progetto verrà gestita mediante i fossi di guardia esistenti sul lato sud, mentre con un sistema di raccolta delle acque mediante caditoie sul lato nord.

La descrizione dell'impianto di smaltimento delle acque meteoriche è riportata nei relativi elaborati grafici e descrittivi.

4.1.5. Barriere stradali

Scopo del presente capitolo è incentrato sulla descrizione delle istruzioni tecniche per l'impiego delle barriere stradali, nonché sui criteri necessari alla loro progettazione, secondo quanto richiesto dalla Normativa vigente.

L'impiego di tali dispositivi di sicurezza mira a ridurre al minimo il rischio di fuoriuscita dei veicoli dalla carreggiata stradale e assorbire l'energia generata dalla collisione, limitando così al massimo i danni e garantendo un maggiore livello di sicurezza stradale.

La classificazione dei dispositivi di ritenuta si effettua a seconda della loro destinazione e ubicazione e, nel caso specifico, le barriere stradali che interessano la rotatoria di progetto sono di tipo "barriere laterali"

Con riferimento alle opere di progetto, dovranno essere adeguatamente protette tramite apposite barriere stradali, come previsto dal D.M. 18 febbraio 1992, n.223 e successivi aggiornamenti e modifiche, le seguenti zone:

- 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.

Individuata le zone da proteggere le barriere che si installano dovranno essere omologate ed essere state sottoposte a crash-test, nonché prove di urto a scala reale con lo scopo di certificare due risultati principali: per i veicoli leggeri l'assorbimento dell'impatto, per i veicoli pesanti il contenimento e rinvio del veicolo.

Inoltre, è essenziale che le protezioni abbiano una lunghezza almeno pari a quella indicata nel certificato di omologazione, e che siano posizionate in modo che circa due terzi della loro estensione precedano l'ostacolo. È necessario integrare il dispositivo con ancoraggi e terminali semplici come specificato nel certificato stesso, invece per la protezione degli ostacoli frontali, occorre utilizzare attenuatori d'urto.

La determinazione delle classi minime di barriere da impiegare nel progetto deve tenere conto della classe funzionale della strada, della classe di traffico considerando il Traffico Giornaliero Medio (TGM) annuale nei due sensi, della percentuale dei veicoli pesanti ($M > 3,5$ t) e della destinazione delle barriere, facendo riferimento alle tabelle seguenti:

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

Figura 12 – Tipologia di traffico

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

Figura 13 – Destinazione delle barriere longitudinali

Gli attenuatori sono dispositivi di ritenuta che si utilizzano quando si ha la probabilità di urti angolari, frontali o laterali, si dividono in redirettivi e non-redirettivi, e devono essere testati secondo la norma EN 1317-3. La scelta della classe di attenuatori da utilizzare dipende dalla velocità imposta nel sito da proteggere.

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

Figura 14 – Attenuatori

I terminali semplici, definiti come normali elementi iniziali e finali di una barriera di sicurezza, possono essere sostituiti o integrati alle estremità di barriere laterali con terminali speciali testati secondo UNI EN 1317-4, di tipo omologato. La scelta della classe dei terminali da utilizzare dipende dalla velocità imposta nel sito da proteggere.

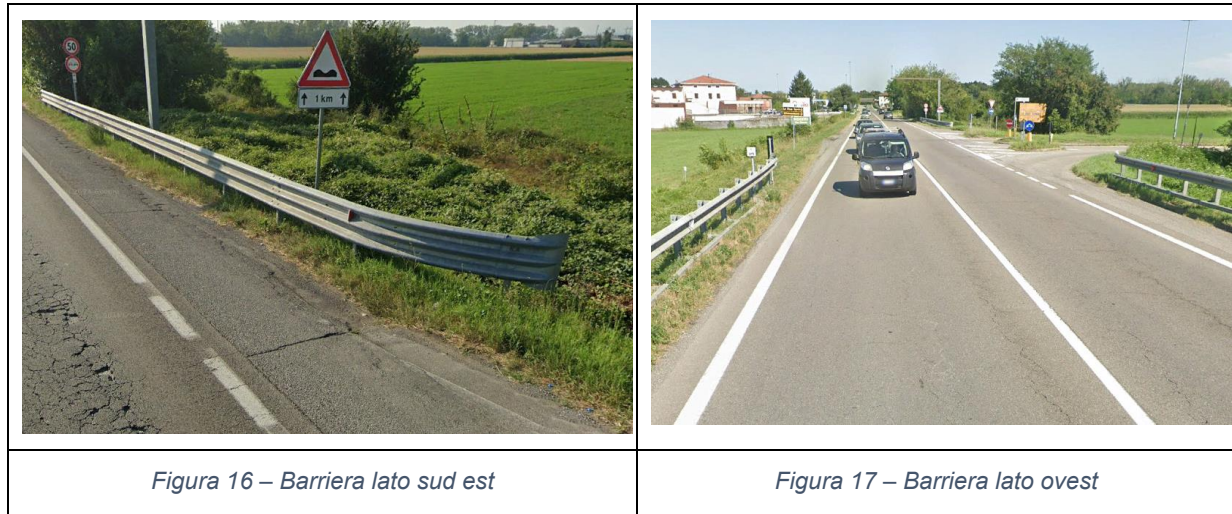
Velocità imposta nel sito da proteggere	Classe dei terminali
Con velocità $v \geq 130$ km/h	P3
Con velocità $90 \leq v < 130$ km/h	P2
Con velocità $v < 90$ km/h	P1

Figura 15 – Terminali

La tipologia di barriera stradale da adottare per il caso specifico è di tipo H1, mentre i terminali di tipo P1 in virtù del fatto che la velocità di progetto in uscita ed in ingresso dalla rotatoria è pari a 25 km/h.

Inoltre, sulla base del DM 1 aprile 2019 “Dispositivi stradali di sicurezza per i motociclisti (DSM)” andranno installati dispositivi per la sicurezza dei motociclisti sulle barriere stesse in analogia a quanto previsto e realizzato per interventi analoghi su via Emilia.

Al momento l'intersezione a raso è caratterizzata dalla presenza di barriere laterali. Sul lato sud est è presente una barriera laterale a protezione dall'ostacolo fisso laterale rappresentato dal portale installato a bordo strada, sul lato ovest sono presenti barriere laterali a protezione dai margini laterali.



Il progetto prevede l'utilizzo di transizioni che devono garantire la continuità e fornire una graduale variazione di rigidità e di contenimento nel passaggio da una barriera ad un'altra. Si tengono in considerazione le seguenti prescrizioni:

- Per elementi longitudinali resistenti si identificano la lama principale a tripla onda, l'eventuale lama secondaria sottostante o soprastante la lama principale e i profilati aventi funzione strutturale delle due barriere. Il loro collegamento si effettua attraverso elementi di raccordo inclinati di non più dell'8% rispetto al piano verticale e non più di 5° rispetto al piano orizzontale;
- Le transizioni tra barriere metalliche di diverso tipo dovranno essere ottenute utilizzando i raccordi e i pezzi speciali di giunzione previsti dal produttore garantendo la continuità tra gli elementi longitudinali che compongono le barriere;
- In corrispondenza dell'interruzione degli elementi longitudinali secondari si prevede l'installazione di terminali previsti dal produttore, arretrando l'elemento stesso rispetto all'allineamento degli elementi longitudinali continui principali, prima della sua interruzione;
- La transizione tra barriere con corrente superiore e barriere senza, avviene raccordando il corrente superiore con un pezzo speciale terminale sagomato e vincolato al paletto della barriera senza ubicato al termine della transizione.

La transizione si potrà considerare strutturalmente continua quando tra due barriere (bordo ponte e bordo laterale o spartitraffico) si prevede:

- L'utilizzo di barriere dello stesso materiale;
- La continuità degli elementi longitudinali resistenti con lo stesso profilo (requisito inderogabile per la lama principale);
- Differenza di quota tra gli elementi longitudinali resistenti non superiore a 20 cm.

Le barriere, come indicato precedentemente, dovrebbero avere una lunghezza almeno pari a quella indicata nel certificato di omologazione e che devono essere posizionate in modo che circa due terzi della loro estensione precedano l'ostacolo.

Facendo riferimento ad una barriera H1 tipo "Tubosider" come esempio si hanno le seguenti caratteristiche:

Certificato secondo norma
EN 1317-5:2007+A2:2012/AC:2012

544_Rev.2/2131/CPR/2016

GENERALITA'

Codice prodotto	BTH1BRL116
Altezza fuori terra	mm 750 ± 20
Profondità d'infissione	mm 805
Ingombro trasversale	mm 205
Interasse pali	mm 3560
Estensione minima consigliata	m 53,4 + elementi d'estremità ⁽¹⁾
Qualità dell'acciaio	S235JR / S355JR
Zincatura	EN ISO 1461

PRESTAZIONI

Livello di contenimento "Lc"	kJ	126,41 ⁽²⁾	Livello severità d'urto A
Severità dell'accelerazione "ASI"		0,6	
Velocità teorica d'urto della testa "THIV"	km/h	20,0	
Larghezza operativa normalizzata e classe "W _N " (larghezza operativa permanente ⁽³⁾)	m	Veicolo pesante	Veicolo leggero
		1,0 / W3 (0,9)	0,8 / W2
Deflessione dinamica normalizzata "D _N " (deflessione permanente)	m	Veicolo pesante	Veicolo leggero
		0,9 (0,6)	0,7 (0,6)
Intrusione veicolo normalizzata "V _N " (posizione laterale estrema del veicolo)	m	Veicolo pesante	Angolo di rollio v.p. ⁽⁴⁾
		1,3 / VI4 (-)	19,0°
Lunghezza di barriera del tratto deformato	m	Veicolo pesante	Veicolo leggero
		28,0	11,0
Indice deformazione abitacolo veicolo "VCDI"	RS0011000		

Figura 18 – Caratteristiche barriera H2

La rotonda, come evidenziato in precedenza si inserisce in un contesto all'interno del quale non sono presenti barriere stradali per il ramo sud (via Centolance), probabilmente in virtù del fatto che la scarpata del rilevato ha pendenza minore di 2/3 e che la velocità di progetto in tale tratto

è minore di 70 km/h. Su via Emilia sono invece presenti barriere a protezione del portale da un lato, mentre dall'altro presenti probabilmente in virtù del fatto che il rilevato supera l'altezza di 1,00 m.

Sulla base di quanto sopra esposto, considerando il fatto che in prossimità della rotatoria ed all'interno della stessa si hanno velocità di progetto sensibilmente inferiori a 70 km/h, il progetto prevede l'istallazione di barriere H1 a protezione della corona rotatoria (in analogia con le intersezioni a rotatoria esistenti su via Emilia) che abbiano una lunghezza minima pari a quella di omologazione e che si estendano, ove possibile, per almeno 2/3 della lunghezza stessa oltre la corona rotatoria da proteggere.

A titolo cautelativo la barriera stradale posta a protezione dei veicoli in direzione est-ovest su via Emilia si estenderà per 2/3 della lunghezza di omologazione oltre la sezione caratterizzata da altezza del rilevato pari a 1,00 m.

Inoltre, le barriere stradali di progetto si raccorderanno alle barriere esistenti nelle modalità di transizione sopra indicate a seconda dei casi

4.2. INTERSEZIONE BRETELLA DI PROGETTO-STRADA DEL TORCHIO

L'intersezione a raso su Strada del Torchio è stata dimensionata secondo i criteri dello studio prenormativo *“Rapporto di Sintesi - Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali”* e delle Linee Guida della Regione Lombardia.

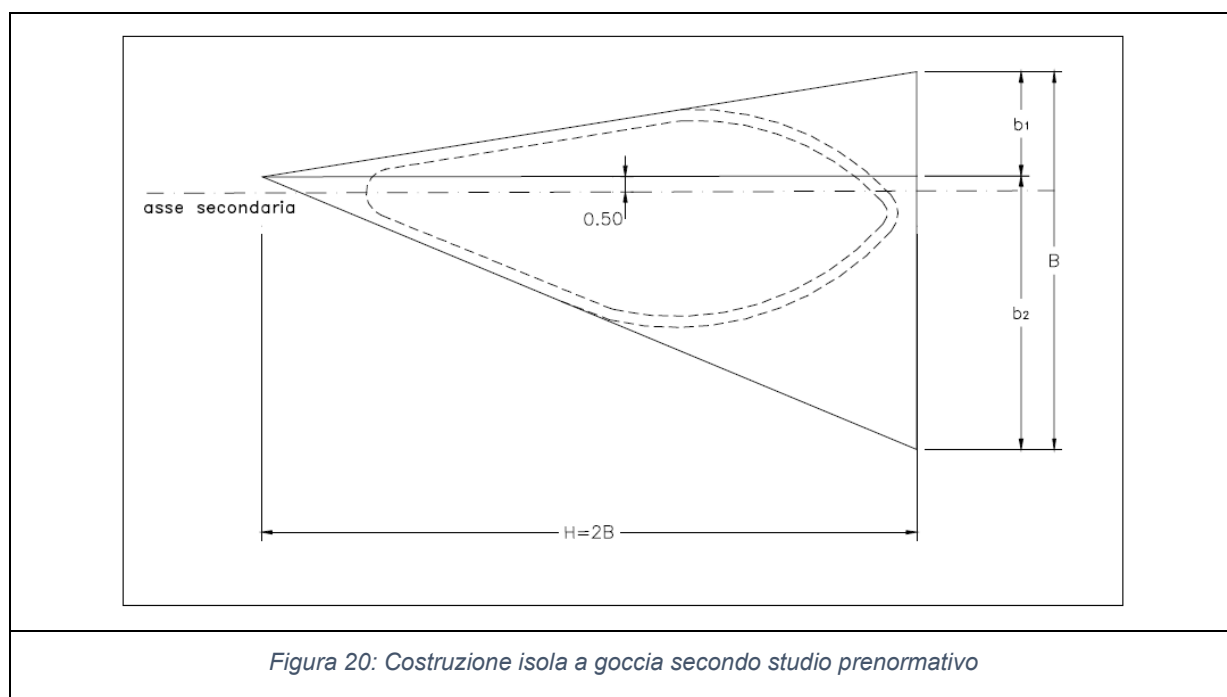


Figura 19: Intersezione a raso su Strada del Torchio

La costruzione dell'isola a goccia segue lo schema e le prescrizioni dello studio prenormativo sopra citato. Gli elementi geometrici principali definiti sono riportati nella tabella seguente.

I	7 m	larghezza carreggiata secondaria
H	28 m	altezza del triangolo di costruzione
B	14 m	base del triangolo di costruzione
b1	3,85 m	lato minore triangolo
b2	10,15 m	lato maggiore triangolo
Ris	14 m	raggio uscita in sinistra
Rie	14 m	raggio entrata in sinistra
Rre	56 m	raggio raccordo isola in entrata
Rrs	112 m	raggio raccordo isola in uscita
a	0 m	larghezza spartitraffico entrata
b	0 m	larghezza spartitraffico uscita

Le caratteristiche geometriche dell'intersezione sono riportate nell'elaborato grafico dedicato.



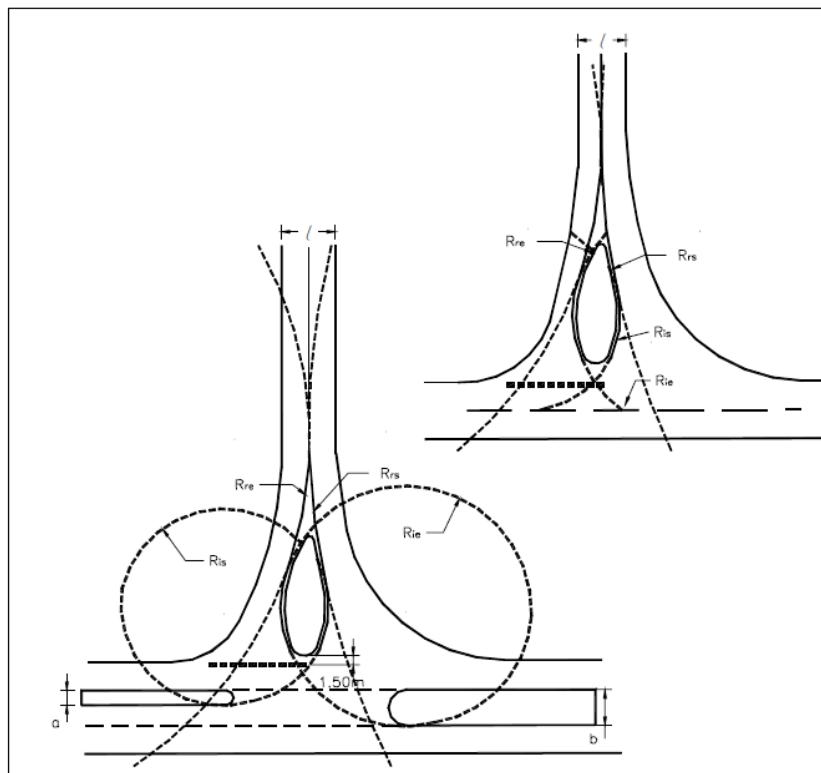
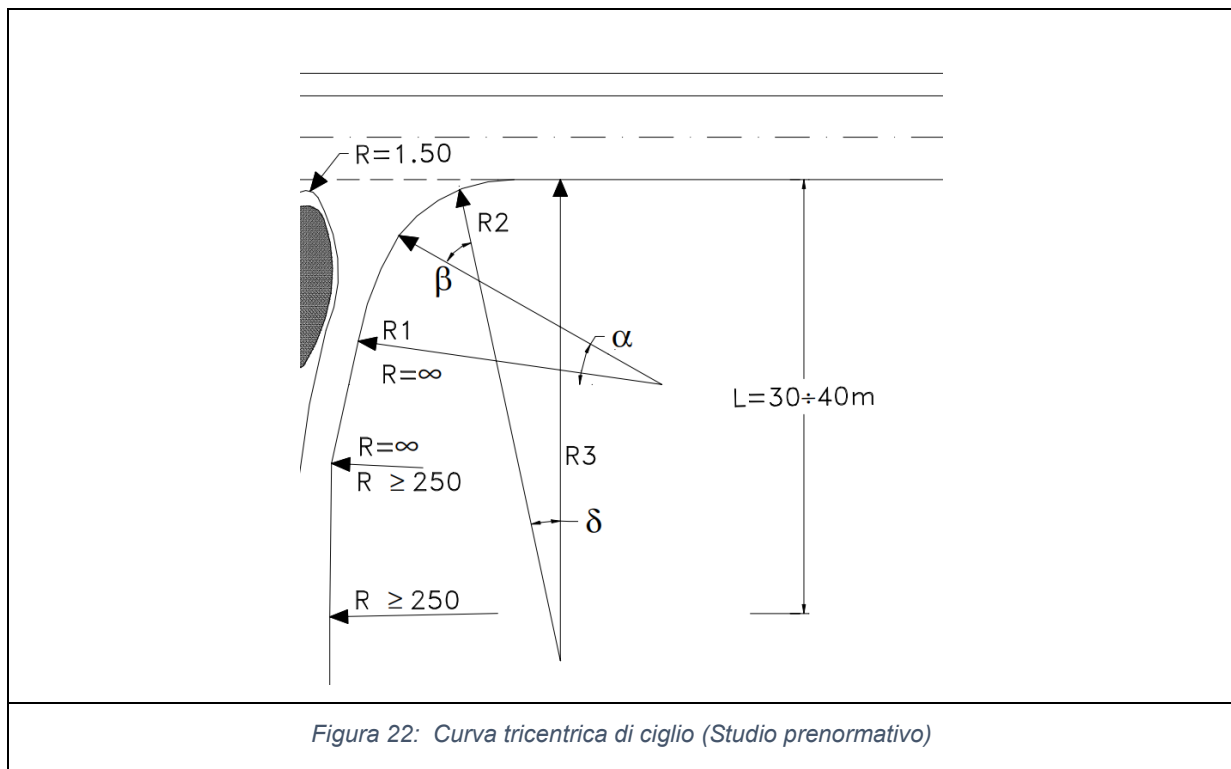


Figura 21: Costruzione isola a goccia secondo studio prenormativo

Per quanto riguarda la geometria dei bordi di connessione tra la strada secondaria e la principale si adotta una curva tricentrica, asimmetrica tra i bordi di entrata ed uscita, caratterizzata dalla successione di tre circonferenze di raggio R_1 , R_2 e R_3 .



Per la definizione dei raggi del bordo di connessione si è fatto sempre riferimento alle indicazioni contenute nello studio prenormativo “Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali - Rapporto di sintesi” del 10/09/2001.

4.2.1. Verifica di visibilità

Al fine di garantire il regolare funzionamento delle intersezioni a raso, e come principio di carattere più generale, occorre procedere sempre ad una gerarchizzazione delle manovre in modo da articolare le varie correnti veicolari in principali e secondarie; ne consegue la necessità di introdurre segnali di precedenza o di stop per ogni punto di conflitto, evitando di porre in essere situazioni di semplice precedenza a destra senza regolazione segnaletica.

Per le traiettorie prioritarie si devono mantenere all'interno dell'intera area di intersezione le medesime condizioni di visibilità previste dalla specifica normativa per le arterie stradali confluenti nei nodi; la presenza dell'intersezione non può difatti costituire deroga agli standard usuali in rapporto alla visibilità del tracciato.

Per le manovre non prioritarie le verifiche vengono sviluppate secondo il criterio dei triangoli di visibilità relativi ai punti di conflitto di intersezione generati dalle correnti veicolari.

Il lato maggiore del triangolo di visibilità viene rappresentato dalla distanza di visibilità principale D, data dall'espressione:

$$D = v \cdot t$$

In cui:

- v = velocità di riferimento [m/s], pari al valore della velocità di progetto caratteristica del tratto considerate o, in presenza di limiti impositivi di velocità, dal valore prescritto dalla segnaletica;
- t = tempo di manovra pari a:
 - in presenza di manovre regolate da precedenza: 12 s;
 - in presenza di manovre regolate da Stop: 6 s.

Tali valori vanno incrementati di un secondo per ogni punto percentuale di pendenza longitudinale del ramo secondario superiore al 2%.

Il lato minore del triangolo di visibilità sarà commisurato ad una distanza di 20 m dal ciglio della strada principale, per le intersezioni regolate da precedenza, e di 3 m dalla linea di arresto, per quelle regolate da stop.

All'interno del triangolo di visibilità non devono esistere ostacoli alla continua e diretta visione reciproca dei veicoli afferenti al punto di intersezione considerato. Si considerano ostacoli per la visibilità oggetti isolati aventi la massima dimensione planimetrica superiore a 0.8 m.

Tale verifica è stata effettuata sulla intersezione a T in questione per la quali si è considerata una velocità di percorrenza pari a 50 km/h.

I risultati sono rappresentati sotto forma grafica negli elaborati specifici.

4.2.2. *Smaltimento delle acque meteoriche*

Per quanto concerne lo smaltimento delle acque meteoriche di Strada del Torchio, allo stato di fatto, questo è gestito da un fosso di guardia sul lato sud e da caditoie a ridosso del muro di recinzione sul lato nord.

Al fine di agevolare il raccordo altimetrico dell'asse di progetto della bretella con Strada del Torchio, il progetto prevede di adottare una configurazione monofalda al 2,50% con pendenza interna verso nord in corrisponde dell'intersezione stradale.

Ciò prevede un carico aggiuntivo, anche se poco significativo, alla condotta a servizio delle caditoie esistenti. Nel caso in cui tale soluzione non risultasse compatibile con la rete esistente a seguito di verifiche in sito o con l'Ente gestore, tali caditoie potrebbero essere collegate alla condotta di progetto riportata negli elaborati idraulici e nell'immagine sottostante.

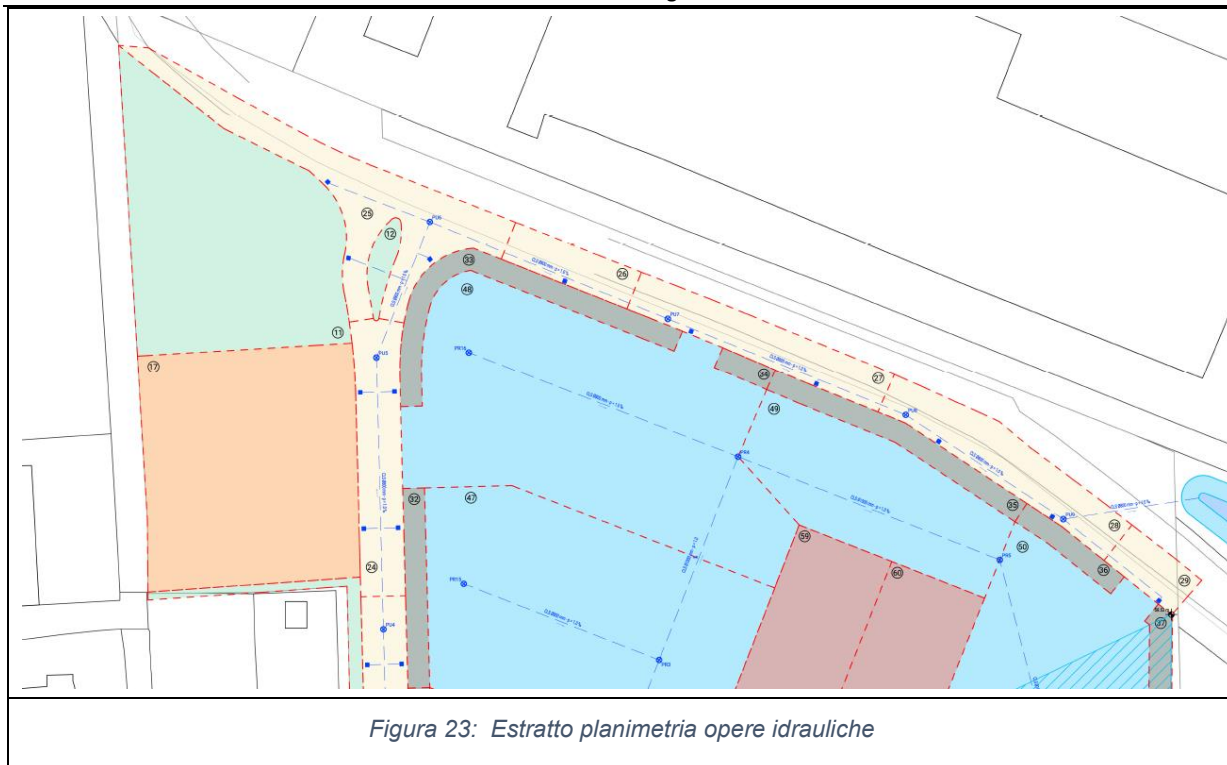


Figura 23: Estratto planimetria opere idrauliche

4.3. BRETELLA DI COLLEGAMENTO VIA EMILIA-STRADA DEL TORCHIO

4.3.1. Criteri e caratteristiche progettuali

Nel testo allegato alla norma D.M. 05/11/2001, al cap. 1 si evidenzia che “interventi su strade esistenti vanno eseguiti adeguando alle presenti norme (D.M. 05/11/2001), per quanto possibile, le caratteristiche geometriche delle stesse, in modo da soddisfare nella maniera migliore le esigenze della circolazione.”

La bretella si inserisce in un contesto nel quale risulta necessario collegare due strade esistenti per uno sviluppo modesto che non consente il raggiungimento delle velocità massime di progetto dell'intervallo. Per tale motivo l'infrastruttura può includersi in un ambito di adeguamento e riqualificazione della viabilità esistente.

Il progetto dell'intervento di adeguamento ha tenuto conto del D.M. 05/11/2001 nei termini previsti nel successivo D.M. 22/04/2004, e cioè che “le presenti norme (D.M. 05/11/2001) si applicano per la costruzione di nuovi tronchi stradali e sono di riferimento per l'adeguamento delle strade esistenti, in attesa dell'emanazione per esse di una specifica normativa”. e del D.M. 19/04/2006 art.2 “nel caso di interventi di adeguamento di intersezioni esistenti le norme allegate costituiscono il riferimento cui la progettazione deve tendere”.

Poiché ad oggi non sono state emanate ufficialmente normative cogenti per l'adeguamento delle strade esistenti, il criterio seguito per il progetto degli interventi di adeguamento è stato quello di integrare, qualora risulti strettamente necessario, le prescrizioni del D.M. 05/11/2001 con

l'adozione di criteri di flessibilità, al fine di garantire una progettazione compatibile con il contesto (territoriale e progettuale) nell'ambito del quale si colloca l'intervento.

Viste tali caratteristiche, perseguendo gli obiettivi di riduzione dell'uso del suolo, riduzione degli espropri e riduzione delle opere di demolizione, si è deciso di adottare criteri progettuali flessibili in deroga da alcune delle prescrizioni contenute nel D.M. 05/11/2001 per la costruzione di nuovi tronchi stradali.

La strada in oggetto è stata classificata di categoria E, ed è stata progettata con caratteristiche geometriche di dimensioni rispettivamente pari a 3,50 m per corsia, 0,50 m di banchina e un marciapiede rialzato pari a 1,50 m.

Per situazioni non gestibili diversamente, la geometrizzazione dell'asse di progetto è stata eseguita in deroga ad alcune delle prescrizioni del D.M. 05/11/2001, in particolare:

- la verifica degli sviluppi minimi dei rettifili non è sempre rispettata;
- L'obbligatorietà della realizzazione di raccordi a raggio variabile che, nel caso specifico, non possono essere tracciati nel rispetto delle prescrizioni del D.M. 05/11/2001 in virtù dello sviluppo ridotto del tracciato e dell'angolo significativo tra gli assi della poligonale di tracciamento

Per i motivi sopra elencati e per le ridotte velocità di progetto caratterizzanti il tracciato, la rotazione dei cigli della piattaforma stradale viene effettuata lungo i rettifili a ridosso del raccordo circolare.

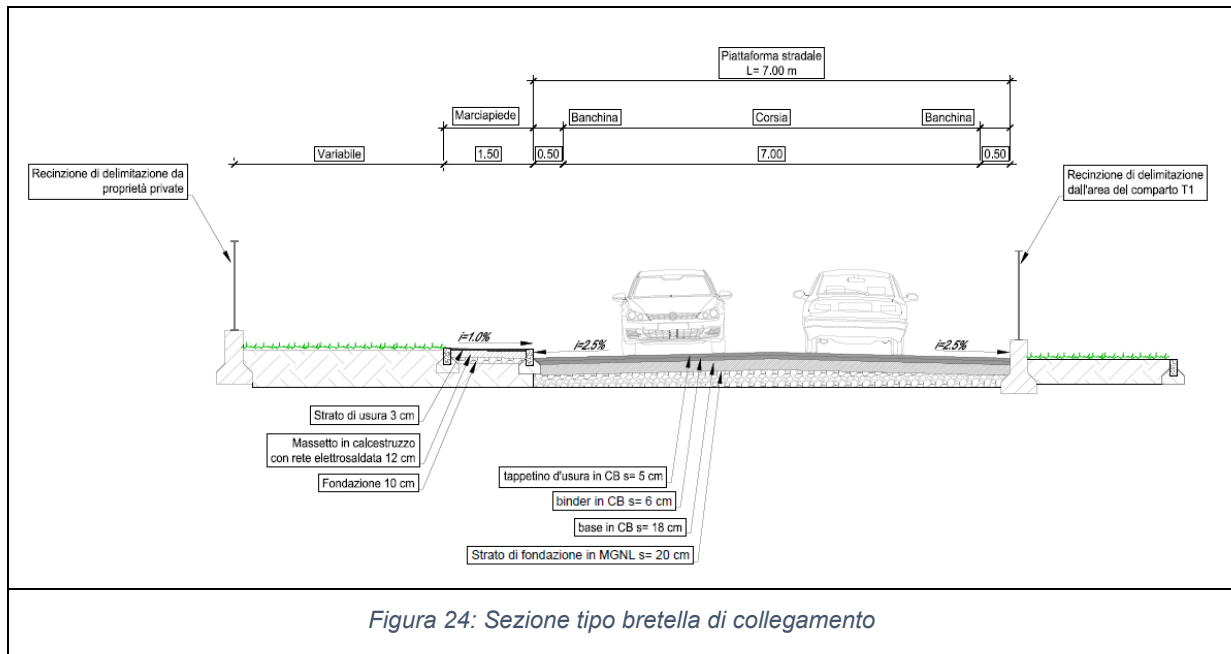
Le verifiche altimetriche sono sempre rispettate.

4.3.2. *Inquadramento funzionale e sezione trasversale*

L'infrastruttura è inquadrata dal punto di vista della geometria della piattaforma stradale e di intervallo delle velocità di progetto come una E definita dal "D.M. 05/11/2001 - Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", con una sezione tipo ad unica carreggiata, composta da:

- 1 corsia per senso di marcia di larghezza pari a 3,50 m;
- banchina di larghezza 0,50 m;
- marciapiede rialzato di larghezza pari a 1,50 m;

Ai lati della piattaforma stradale sono previste o cordonature a separazione di aree verdi o muretti di recinzione con l'area del comparto T1.



4.3.3. Velocità di progetto

Per la viabilità in oggetto, è stato preso in considerazione l'intervallo di velocità pari a 40-60 km/h. 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 di cui sopra.

A fini della verifica degli elementi geometrici a ridosso delle intersezioni stradali, è stata adottata una velocità di progetto pari a 25 km/h in prossimità delle intersezioni stesse e valori di accelerazione e decelerazione pari a 0,8 m/s².

4.3.4. Verifiche planimetriche

Si rimanda a quanto descritto nei capitoli precedenti.

4.3.5. Verifiche altimetriche

Si riportano i tabulati delle verifiche dei raccordi longitudinali estratti dal programma ROADS.

Asse di progetto

CONTROLLO NORMATIVA ALTIMETRICA

Pagina: 1 / 1

Dati generali profilo				
Tipo piattaforma:	Carreggiata singola			
Posizione asse:	Centro			
Tipo normativa:	ITA - Normativa stradale 2002 - Italia			
Tipo strada:	F1 - Locale Extraurbana			
Velocità minima:	40,00 km/h			
Velocità massima:	100,00 km/h			

✓ 1 Livelletta - N. 1	Pendenza: -2,000%	Elemento	Riferimento	Velocità
● Pendenza massima		2,000%	10,000%	

⚠ 2 Parabola altimetrica - N. 1	Raggio: 100,000 m Lunghezza: 5,006 m	Elemento	Riferimento	Velocità
● Raggio minimo per evitare il contatto con la superficie		100,000 m	20,000 m	
● Raggio minimo comfort accelerazione verticale		100,000 m	88,958 m	26,30 km/h
● Raggio minimo da visibilità (con Distanza di arresto)		100,000 m	0,000 m	26,30 km/h
● Raggio minimo da visibilità (con Distanza di Sorpasso)		100,000 m	2324,657 m	26,30 km/h

✓ 3 Livelletta - N. 2	Pendenza: -7,000%	Elemento	Riferimento	Velocità
● Pendenza massima		7,000%	10,000%	

✓ 4 Parabola altimetrica - N. 2	Raggio: 610,000 m Lunghezza: 36,080 m	Elemento	Riferimento	Velocità
● Raggio minimo per evitare il contatto con la superficie		610,000 m	40,000 m	
● Raggio minimo comfort accelerazione verticale		610,000 m	171,640 m	36,53 km/h
● Raggio minimo da visibilità (con Distanza di arresto)		610,000 m	606,651 m	36,53 km/h

✓ 5 Livelletta - N. 3	Pendenza: -1,091%	Elemento	Riferimento	Velocità
● Pendenza massima		1,091%	10,000%	

✓ 6 Parabola altimetrica - N. 3	Raggio: 1000,000 m Lunghezza: 10,909 m	Elemento	Riferimento	Velocità
● Raggio minimo per evitare il contatto con la superficie		1000,000 m	40,000 m	
● Raggio minimo comfort accelerazione verticale		1000,000 m	186,720 m	38,10 km/h
● Raggio minimo da visibilità (con Distanza di arresto)		1000,000 m	0,000 m	38,10 km/h

✓ 7 Livelletta - N. 4	Pendenza: 0,000%	Elemento	Riferimento	Velocità
● Pendenza massima		0,000%	10,000%	

✓ 8 Parabola altimetrica - N. 4	Raggio: 400,000 m Lunghezza: 9,999 m	Elemento	Riferimento	Velocità
● Raggio minimo per evitare il contatto con la superficie		400,000 m	20,000 m	
● Raggio minimo comfort accelerazione verticale		400,000 m	105,093 m	28,59 km/h
● Raggio minimo da visibilità (con Distanza di arresto)		400,000 m	0,000 m	28,59 km/h
● Raggio minimo da visibilità (con Distanza di Sorpasso)		400,000 m	0,000 m	28,59 km/h

✓ 9 Livelletta - N. 5	Pendenza: -2,500%	Elemento	Riferimento	Velocità
● Pendenza massima		2,500%	10,000%	

4.4. SOVRASTRUTTURA STRADALE

La sovrastruttura stradale di progetto è di tipo flessibile. Scopo del presente capitolo è incentrato sul dimensionamento del pacchetto della pavimentazione stradale previsto per l'intervento di progetto.

Il calcolo è finalizzato a verificare che la pavimentazione abbia una resistenza a fatica tale da rimanere in efficienza durante tutta la vita utile prevista e che se ne debba prevedere il rifacimento integrale solo al termine di quest'ultima.

Le verifiche sono state eseguite con la metodologia semi-empirica dell'AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.

4.4.1. METODO AASHTO

Il metodo AASHTO permette di ricavare il numero totale di passaggi di assi equivalenti da 8.2 t ($N_{8,2\max}$ [ESALS]) che una pavimentazione di assegnate caratteristiche meccaniche riesce a sopportare prima di raggiungere un grado di ammaloramento, cioè un livello di funzionalità accettabile, in relazione alla "Affidabilità" richiesta.

Il numero ricavato è confrontato con quello dei passaggi di assi standard alla fine della "Vita utile" ($N_{8,2}$), calcolati attraverso lo spettro di traffico indicato nel Catalogo delle Pavimentazioni Stradali CNR.

È opportuno osservare che il rifacimento dello strato di usura dopo un certo numero di anni è da considerarsi come un intervento manutentivo ordinario e prevedibile al fine di assicurare le necessarie caratteristiche di aderenza nelle pavimentazioni flessibili e semi-rigide.

L'obiettivo si sostanzia attraverso la definizione dei seguenti parametri:

- La "**Vita utile**", intesa come il numero di anni durante il quale la pavimentazione deve assicurare, attraverso normali operazioni di manutenzione, condizioni di funzionalità superiori allo stato limite;
- Lo "**stato limite**", cioè il livello minimo di funzionalità della sovrastruttura ritenuto accettabile, superato il quale è necessario intervenire. Nel metodo empirico si fa riferimento al PSI (Present Serviceability Index);
- L'"**affidabilità**", cioè la probabilità che la sovrastruttura sia in grado di assicurare, con normali operazioni di manutenzione, condizioni di circolazione superiori allo stato limite per l'intera durata della vita utile.

VALUTAZIONE DEL TRAFFICO VEICOLARE

Il numero di passaggi cumulati di veicoli commerciali alla fine della Vita utile è fornito dalla seguente espressione:

$$T^N = N_{vca} \cdot \frac{(1 + R)^N - 1}{R}$$

Dove:

- N = vita utile della sovrastruttura espressa in anni;
- R = tasso di incremento annuo del traffico commerciale;
- N_{vca} = numero dei passaggi di veicoli commerciali che si prevede transiterà durante il primo anno successivo all'apertura della strada, ed è definito da:

$$N_{vca} = TGM_{tot} \cdot p_c \cdot p_{sm} \cdot p_{corsia} \cdot d \cdot gg_{comm}$$

in cui:

- TGM_{tot} = il traffico giornaliero medio TGM in veicoli/giorno, che transita o si presume che transiterà nell'infrastruttura durante il primo anno di vita utile;
- p_c = percentuale di veicoli commerciali di peso non inferiore a 3 ton sul traffico totale;
- p_{sm} = aliquota di traffico nella direzione più carica;
- p_{corsia} = percentuale dei veicoli commerciali sulla corsia di marcia normale;
- d = coefficiente di dispersione delle traiettorie;
- gg_{comm} = numero di giorni commerciali per anno.

Noto il numero dei veicoli commerciali transitanti sulla corsia più lenta alla fine della vita utile, il calcolo del numero di assi standard equivalenti è stato eseguito ricorrendo ai coefficienti di equivalenza definiti da AASHTO e agli spettri di traffico suggeriti nel Catalogo delle Pavimentazioni Stradali:

ARA 1965 SPA
 Procedimento Unico ex art.53 LR 24/2017
 Variante al PUA e PDC OO.UU. Ambito T1_Fonteivo
 Relazione Tecnica Generale

Tipi di veicoli commerciali, numero d'assi, distribuzione dei carichi per asse															
Tipologie di veicoli commerciali		Numero totale assi		Peso assi (kN)											
				10	20	20	40	50	60	70	80	90	100	110	120
1	Autocarri leggeri	2	Numero di assi distribuiti per peso	1	1										
2	Autocarri leggeri	2			1	1									
3	Autocarri medi e pesanti	2					1			1					
4	Autocarri medi e pesanti	2						1					1		
5	Autocarri pesanti	3					1			2					
6	Autocarri pesanti	3						1				2			
7	Autotreni e autoarticolati	4					1			2	1				
8	Autotreni e autoarticolati	4							1				3		
9	Autotreni e autoarticolati	5					1			4					
10	Autotreni e autoarticolati	5							1			2	2		
11	Autotreni e autoarticolati	5					1				3		1		
12	Autotreni e autoarticolati	5							1			3		1	
13	Mezzi d'opera	5						1							1 3
14	Autobus	2					1			1					
15	Autobus	2							1				1		
16	Autobus	2						1			1				

Figura 25 - Veicoli commerciali, numero di assi, distribuzione dei carichi per asse (Catalogo delle Pavimentazioni)

Spettri di traffico di veicoli commerciali per ciascun tipo di strada																		
Tipo di strada		Cat. strada	Tipo di veicolo															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Autostrade extraurbane	AE	12,2	0	24,4	14,6	2,4	12,2	2,4	4,9	2,4	4,9	2,4	4,9	0,1	0	0	12,2
2	Autostrade urbane	AU	18,2	18,2	16,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,6	18,2	27,3	0
3	Strade extraurbane principali e secondarie a forte traffico	B	0	13,1	39,5	10,5	7,9	2,6	2,6	2,5	2,6	2,5	2,6	2,6	0,5	0	0	10,5
4	Strade extraurbane secondarie ordinarie	C	0	0	58,8	29,4	0	5,9	0	2,8	0	0	0	0	0,2	0	0	2,9
5	Strade extraurbane secondarie turistiche	FE	24,5	0	40,8	16,3	0	4,15	0	2	0	0	0	0	0,05	0	0	12,2
6	Strade urbane di scorrimento	D	18,2	18,2	16,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,6	18,2	27,3	0
7	Strade urbane di quartiere e locali	E	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0
	Strade urbane locali	FU	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0
8	Corsie preferenziali	PR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47	53	0

Figura 26 - Tipici spettri di traffico di veicoli commerciali per ciascun tipo di strada (Catalogo Pavimentazioni CNR)

In definitiva, si pone:

$$N_{8,2} = T^N \cdot C_{SN} \cdot n_a$$

in cui n_a è il numero medio di assi per veicolo commerciale; C_{SN} un coefficiente di equivalenza tra il generico asse reale, di peso P_i e tipologia T_i , e l'asse singolo standard da 8,2 ton, ed è definito dalla seguente espressione:

$$C_{SNi} = C_{SN} (P_i, T_i, PSF_f) = 10^{-A}$$

Con:

$$A = \left\{ 4.79 \cdot [\log(18 + 1) - \log(0.225 \cdot P_i + T_i)] + 4.33 \cdot \log(T_i) + \frac{G}{B_i} - \frac{G}{B^*} \right\}$$

$$G = \log \frac{PSI_i - PSI_f}{2.7}$$

$$B_i = 0.40 + \frac{0.081 \cdot (0.225 \cdot P_i + T_i)^{3.23}}{\left(\frac{SN}{2.54} + 1 \right)^{5.19} \cdot T_i^{3.23}}$$

- PSI_i = Present Serviceability Index all'apertura della strada, assunto pari a 4.2 per tenere conto delle inevitabili imperfezioni costruttive;
- PSI_f = Present Serviceability Index al termine della vita utile, assunto in funzione del tipo di strada e scelto in base alle indicazioni del Catalogo delle Pavimentazioni CNR;
- SN = Indice Strutturale relativo alla sovrastruttura, meglio definito nel seguito.

Tipo di strada		Cat. strada	Affidabilità	PSI
1	Autostrade extraurbane	AE	90%	3,00
2	Autostrade urbane	AU	95%	3,00
3	Strade extraurbane principali e secondarie a forte traffico	B	90%	2,50
4	Strade extraurbane secondarie ordinarie	C	85%	2,50
5	Strade extraurbane secondarie turistiche	FE	80%	2,50
6	Strade urbane di scorrimento	D	95%	2,50
7	Strade urbane di quartiere e locali	E	90%	2,00
	Strade urbane locali	FU	90%	2,00
8	Corsie preferenziali	PR	95%	2,50

Figura 27 - Valori di affidabilità e PSI

INDICE STRUTTURALE (O STRUCTURAL NUMBER) SN DELLA PAVIMENTAZIONE

Lo “**Structural Number**” SN è un parametro che tiene conto della resistenza strutturale della pavimentazione. Esso è funzione degli spessori degli strati s_i , della resistenza dei materiali impiegati, rappresentata per mezzo dei coefficienti strutturali di strato a_i , e della loro sensibilità all'acqua rappresentata attraverso i coefficienti di drenaggio m_i .

L'espressione analitica dello Structural Number è:

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

Dove:

- i = numero degli strati costituenti la sovrastruttura stradale;
- a_i = coefficiente che esprime la capacità relativa dei materiali impiegati nei vari strati della pavimentazione a contribuire come componenti strutturali alla funzionalità della sovrastruttura. Tali coefficienti sono funzione della tipologia e relative proprietà del materiale;
- s_i = spessore dello strato i -esimo della sovrastruttura in pollici (inch);
- m_i = coefficiente funzione della qualità del drenaggio e della percentuale di tempo durante il quale la pavimentazione è esposta a livelli di umidità prossimi alla saturazione. Siccome l'effetto che l'acqua ha sui materiali legati è praticamente nullo si pone $m = 1$.

Nello specifico i coefficienti strutturali relativi agli strati di usura (a_1) e di base (a_3) si ricavano direttamente dai monogrammi presenti sull'AASHTO Guide in funzione della stabilità Marshall scelta per i rispettivi strati (si considera per la stabilità Marshall a 75 colpi i valori indicati nel Catalogo delle Pavimentazioni stradali CNR). Il valore del coefficiente relativo allo strato di collegamento (a_2) si ricava per interpolazione lineare dei parametri a_1 e a_3 , ricavati sempre dall'AASHTO Guide, in funzione, ovviamente, del valore della stabilità Marshall relativa allo strato di collegamento (binder). Infine, il coefficiente riguardante lo strato di fondazione (a_4) in misto granulare si ricava sempre dall'AASHTO Guide in funzione del CBR della fondazione.

Stabilità Marshall			
Strato	S75 (kg)	S50 (kg)	S50 (lb)
<i>usura</i>	1100	916.67	2016.67
<i>binder</i>	1000	833.33	1833.33
<i>base</i>	800	666.67	1466.67

Tabella 1 - Stabilità Marshall

Il metodo AASHTO utilizza un valore della stabilità Marshall a 50 colpi espresso in libbre. Di seguito l'espressione di conversione dalla stabilità a 75 colpi, espressa in kg, alla stabilità Marshall a 50 colpi espressa in libbre:

$$S_{50}(lb) = \frac{S_{75}(kg)}{1.2} \cdot 2.2$$

AFFIDABILITÀ PERCENTUALE R₁ E FATTORE DI AFFIDABILITÀ Z_r

Per “**Affidabilità**” s’intende la probabilità che la sovrastruttura sia in grado di assicurare, con normali operazioni di manutenzione, condizioni di circolazione superiori allo stato limite per l’intera durata della vita utile. Nei casi in esame, l’affidabilità percentuale R₁ è stata ricavata dalla seguente tabella, tratta dal Catalogo delle Pavimentazioni CNR:

Fattore di affidabilità Z _r				
R ₁	80%	85%	90%	95%
Z _r	-0.841	-1.037	-1.282	-1.645

Tabella 2 - Fattore di affidabilità

PORTANZA DEL SOTTOFONDO

La “**portanza**” di un terreno è la sua capacità di sopportare i carichi senza che si verifichino eccessive deformazioni, che risultano essere di tipo elasto - plastico - viscoso.

Il parametro d’interesse da impiegare nel calcolo della pavimentazione con il metodo empirico è il modulo resiliente M_R.

Il valore del modulo resiliente può essere dedotto dal valore del modulo di deformabilità M_d misurato in situ mediante prova di carico su piastra.

Il piano di posa della sovrastruttura stradale dovrà essere caratterizzato da un modulo di deformabilità M_d non inferiore a 50 Mpa. Da tale valore è possibile ricavare il modulo resiliente per mezzo della seguente relazione:

$$M_R = 2 \cdot M_d \text{ (MPa)} = 100 \text{ MPa}$$

A tale valore corrisponde un indice di portanza CBR = 10.

NUMERO MASSIMO DI PASSAGGI DI ASSI EQUIVALENTI DA 8,2 TON

Il numero massimo di passaggi di assi equivalenti che la pavimentazione può sopportare ($N_{8,2max}$) è ricavabile dalla seguente espressione:

$$\log(N_{8,2max}) = Z_r \cdot S_0 + 9.36 \cdot \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \cdot \log(M_R) - 8.07$$

essendo:

- ΔPSI = differenza tra l'indice di funzionalità della pavimentazione e al termine della vita utile;
- S_0 = deviazione standard relativa all'aleatorietà delle previsioni di traffico e delle prestazioni della pavimentazione, assunta pari a 0.45;
- M_R = modulo resiliente del sottofondo, espresso in psi;
- SN = indice strutturale della pavimentazione.

FATTORE DI SICUREZZA A FATICA

I risultati delle verifiche sono espressi attraverso il “**fattore di sicurezza a fatica FS**”, dato dal rapporto tra il numero massimo ($N_{8,2max}$) di passaggi di assi equivalenti sopportabili dalla struttura, nell'arco della vita utile, e il numero di assi effettivamente transitanti sulla pavimentazione $N_{8,2}$ nel medesimo intervallo temporale:

$$FS = \frac{N_{8,2max}}{N_{8,2}}$$

4.4.2. PAVIMENTAZIONE DI PROGETTO

In mancanza di dati di traffico di dettaglio, per la portata veicolare al termine della vita utile è stata presa a riferimento la portata di servizio (per corsia) corrispondente al LoS richiesto per la categoria di strada considerata.

Il D.M. 05/11/2001 indica per una strada di tipo C extraurbana secondaria indica una portata di servizio pari a $PS = 600$ autov. equiv./h x corsia.

La portata oraria espressa in veic/h si ottiene con la seguente formula:

$$V = \frac{2 \times PS}{[1 + p(n - 1)]} = \frac{2 \times 600}{[1 + 0.15 \times (2,0 - 1)]} \cong 1043 \text{ veic/h}$$

Il TGM a fine vita utile si ricava invertendo la relazione tra questo e il flusso dell'ora di punta:

$$V = \frac{c \times TGM}{phf} \text{ (veic/h)}$$

in cui **c** è il fattore di conversione da TGM a V (**c = 0.08**) e **phf** il fattore dell'ora di punta (**phf = 0.85**). Risulta:

$$TGM_{fin} = 11087 \text{ veic/giorno}$$

L'analisi consisterà nel verificare che, al termine della vita utile della pavimentazione (**20 anni**), con la percentuale di veicoli pesanti registrata **p = 15 %**, e lo spettro di traffico previsto per una strada di tipo C extraurbana secondaria ordinaria (Catalogo delle pavimentazioni CNR) risulti $FS > 1$ per il TGM_{fin} considerato.

VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE

Di seguito, sotto forma tabellare, sono riportate le analisi di verifica:

Classificazione della Strada secondo il Codice della Strada		C
DATI TRAFFICO		
N° spettro di traffico (Catalogo Italiano delle Pavimentazioni)		3
Traffico giornaliero medio	TGM =	11087 veicoli
Numero di giorni commerciali per anno	gg =	312 giorni
Aliquota di traffico per direzione più carica	p _d =	0,5
Percentuale di veicoli commerciali	p =	15 %
Aliquota di veicoli commerciali sulla corsia di marcia normale	p _i =	1
Coefficiente di dispersione delle traiettorie	d =	0,8
Numero medio di assi per veicolo commerciale	n _a =	2,5 n° assi
Vita Utile	n =	20 anni
Tasso di incremento del traffico durante la vita utile	r =	3 %

Tabella 3 - Dati del traffico

Legenda per l'attribuzione della categoria di strada	
AE	Autostrade extraurbane
AU	Autostrade urbane
B	Strade extraurbane principali e secondarie a forte traffico
C	Strade extraurbane secondarie ordinarie
FE	Strade extraurbane secondarie turistiche
D	Strade urbane di scorrimento
E	Strade urbane di quartiere e locali
FU	Strade urbane locali
PR	Corsie preferenziali

Tabella 4 – Categorie stradali

Lo spettro di traffico per la categoria considerata è il numero 7 ed è rappresentato dalla seguente tabella:

	Tipo di strada	Tipo di veicolo																Totale veicoli
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
3	Extraurbana secondaria a forte traffico (C)		13,1	39,5	10,5	7,9	2,6	2,6	2,5	2,6	2,5	2,6	2,6	0,5			10,5	100,0

Tabella 5 - Spettro di traffico n° 3

Determinazione del Structural Number (SN)

Strato _{i-esimo}	Spessore s_i (mm)	Coefficiente di drenaggio d_i	Coefficiente di spessore a_i	$s_i \times d_i \times a_i$	CBR (%)	M_R (MPa)
Sottofondo					10	100
Fondazione	200	0,95	0,11	0,82		
Base bitumata	180	1,00	0,28	1,98		
Binder	60	1,00	0,40	0,94		
Usura	50	1,00	0,43	0,85		
Totale				4,60		
SN =		4,5984				

Tabella 6 - Structural Number (SN)

R =	90%	Affidabilità
Z_R =	-1,282	Valore di deviazione standard ridotta
S_0 =	0,45	Valore di deviazione standard nella predizione del traffico e della prestazione attribuita alla pavimentazione
$Z_R \times S_0$ =	-0,5769	Fattore correttivo dell'affidabilità

MR =	100	MPa
	14.504	psi (pound square inch)

PSI _i =	4,2
PSI _f =	2,5

Log ₁₀ W ₈₀ =	7,440			
Traffico ammissibile W ₈₀ =		27.535.784	assi da 80 kN	VERIFICATO
Traffico di progetto W ₈₀ prog =		13.022.738	assi da 80 kN	

