



CITTÀ DI CARPI
PROVINCIA DI MODENA

PISTA CICLABILE CARPI A COLLEGAMENTO PER LIMIDI DI SOLIERA (BIKE TO WORK)

ID 9270
CUP: C91B21006770006

RELAZIONE TECNICA

IL PROGETTISTA
Ing. Daniele Mingozzi

L'INTEGRATORE DELLE PRESTAZIONI
SPECIALISTICHE
Ing. Daniele Mingozzi

IL DIRETTORE TECNICO
Ing. Fausto Bianchi

Codice: S24059-PF-RE-0003-2

REV.	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO
0	Giugno 2024	G. Crescenzo	D. Mingozzi	F. Bianchi
1	Dicembre 2024	G. Crescenzo	D. Mingozzi	F. Bianchi
2	Febbraio 2025	G. Crescenzo	D. Mingozzi	F. Bianchi

Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica



ENSER SRL

C.F./P.IVA/Registro Imprese RA 02058800398 N. REA RA-167939 - Cap. Sociale € 105 000,00 i.v.

SEDE LEGALE
Viale A. Baccarini, 29/2
48018 Faenza (RA)
Tel. (+39) 0546 663423

SEDE DI BOLOGNA - Via E. Zacconi, 16 - 40127 Bologna (BO)
SEDE DI SANTARCANGELO - Via A. Costa, 115 - 47822 Santarcangelo di Romagna (RN)
SEDE DI FIRENZE - Viale S. Lavagnini, 42 - 50129 Firenze (FI)
SUCCURSALE DI PARIGI - 1 Rue de Stockholm, 75008 Paris (France)

www.enser.it
www.enser.fr
ingegneria@enser.it
ensersrl-ra@legalmail.it



INDICE

1. PREMESSA	4
1.1. AREA DI INTERVENTO	4
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
3. IL PROGETTO DELLA PISTA CICLABILE.....	6
3.1. DESCRIZIONE DEL TRACCIATO	6
3.2. SEZIONI TIPICHE.....	6
3.3. PAVIMENTAZIONI.....	8
3.4. ANDAMENTO PLANOALTIMETRICO	9
3.5. ANALISI DELLA VISIBILITA'.....	10
3.6. INTERSEZIONI.....	11
3.7. SEGNALETICA VERICALE E ORIZZONTALE	12
3.8. BARRIERE DI SICUREZZA	12
3.9. RETE DI SMALTIMENTO ACQUE.....	14
3.9.1. STIMA PORTATA DI PROGETTO.....	15
3.9.2. CONSIDERAZIONI SUL RISPETTO DEL PRINCIPIO DI INVARIANZA IDRAULICA	17

FIGURE

FIGURA 3-1: AREA DI INTERVENTO	4
FIGURA 5-5: DETTAGLIO PAVIMENTAZIONE CICLABILE IN CALCESTRUZZO DRENANTE	8
FIGURA 5-6: DETTAGLIO PAVIMENTAZIONE CICLABILE IN CONGLOMERATO BITUMINOSO	9
FIGURA 5-7: DETTAGLIO ATTRAVERSAMENTO ILLUMINATO.....	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.

1. PREMESSA

Il presente documento rappresenta la relazione tecnica del progetto “PISTA CICLABILE CARPI A COLLEGAMENTO PER LIMIDI DI SOLIERA (BIKE TO WORK)” ed è redatta ai sensi del Dlgs 31 Marzo 2023, n. 36 “Codice dei contratti pubblici”.

1.1. AREA DI INTERVENTO

L'intervento oggetto del presente documento si pone al confine est del Comune di Carpi, parallelamente alla SP1, ed è compreso fra la rotatoria via Aldo Moro esterna - Via Cavata - via Cavalcavia Lama (in seguito indicata come rotatoria Aldo Moro) e il ponte sul Cavo Lama che segna il confine con il Comune di Soliera.



Figura 1-1: Area di intervento



2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il progetto della pista ciclabile è stato sviluppato coerentemente con le normative vigenti, in particolare:

- Decreto Legislativo 30 aprile 1992, n. 285 - "Nuovo Codice della Strada".
- Decreto del Presidente della Repubblica 16 dicembre 1992, n. 495 - "Regolamento di esecuzione ed attuazione del N.C.S.".
- Decreto Ministeriale 30/11/1999 n°557 – “Regolamento recante norme per la definizione delle caratteristiche tecniche delle piste ciclabili”.
- Decreto Ministeriale 5 novembre 2001 - "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade".
- Decreto Ministeriale 19 aprile 2006 - "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali".
- Legge 11 gennaio 2018, n°2, “Disposizioni per lo sviluppo della mobilità in bicicletta e la realizzazione della rete nazionale di percorribilità ciclistica”.
- Decreto Legislativo 31 marzo 2023, n. 36 – “Codice dei Contratti Pubblici”.

3. IL PROGETTO DELLA PISTA CICLABILE

3.1. DESCRIZIONE DEL TRACCIATO

Il tracciato si sviluppa nel tratto compreso fra la rotatoria Aldo Moro e il ponte sul Cavo Lama per una lunghezza complessiva di 345m, collegando la ciclabile esistente a Nord della rotatoria e quella esistente sul ponte.

Partendo dalla rotatoria Aldo Moro, la ciclabile di progetto si stacca da quella esistente poco prima dell'attraversamento di via Cavata dirigendosi verso l'isola spartitraffico della rotatoria che attraversa per superare l'intersezione con la strada provinciale. Superata l'intersezione, la ciclabile corre poi parallelamente alla strada provinciale, mantenendosi a sud della fascia alberata esistente fino ad arrivare al piazzale della pompa di benzina. Da qui e fino a fine intervento la ciclabile procede adiacente alla carreggiata stradale, a una distanza dalla striscia di margine tale da permettere l'allargamento della banchina esistente a 50cm e l'inserimento di uno spartitraffico di 50cm.

3.2. SEZIONI TIPICHE

Di seguito vengono presentate le diverse sezioni tipologiche utilizzate per la risoluzione dell'intervento. Partendo dalla rotatoria e andando in direzione del ponte.

Nel primo tratto la ciclabile di progetto si pone in continuità con l'arginello stradale e in rilevato, con un'altezza media del rilevato di circa 50cm e ad una distanza dalla strada tale da garantire una adeguata fascia di rispetto dalle alberature, valutata in 1.00m dal filo esterno del tronco, e da garantire l'adeguato spazio di lavoro alla barriera di sicurezza posta a tergo di questa area, pari ad 1.00m.

In questo tratto la ciclabile procede in sede propria, con una larghezza di 2.50. A lato della stessa è poi previsto un fosso di larghezza pari 1.50m (Figura 3-1).

SEZIONE TIPO A

SCALA 1:50

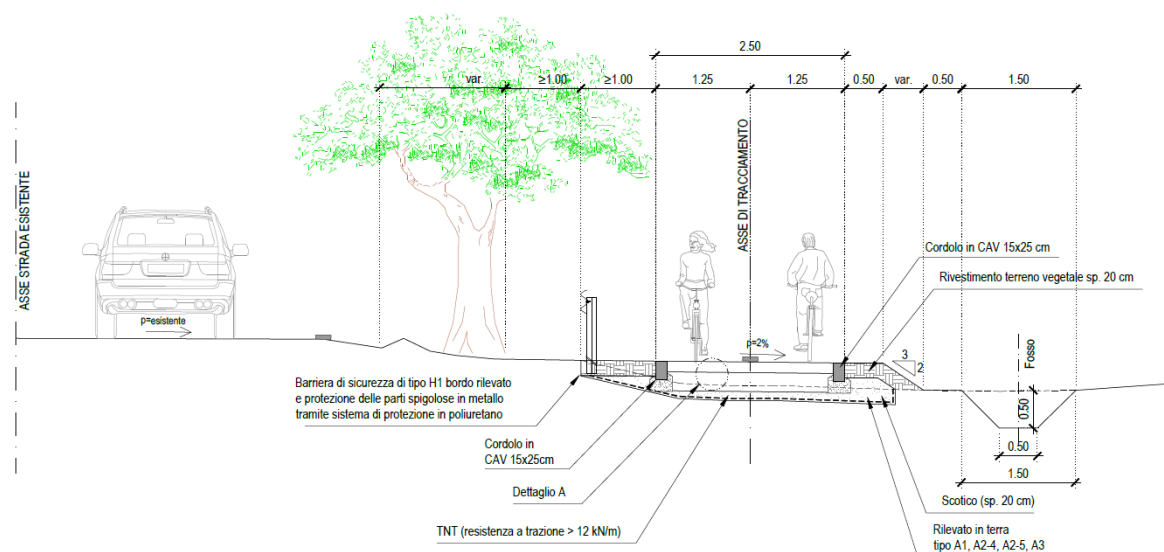


Figura 3-1: Sezione tipo A

Successivamente la ciclabile procede lungo il piazzale del distributore di benzina in sede propria con una larghezza di 2.00m separata dalla strada provinciale da una banchina larga 50cm e uno spartitraffico largo 50cm. Anche lato piazzale è previsto uno spartitraffico di 50cm (Figura 3-2).

SEZIONE TIPO B

SCALA 1:50

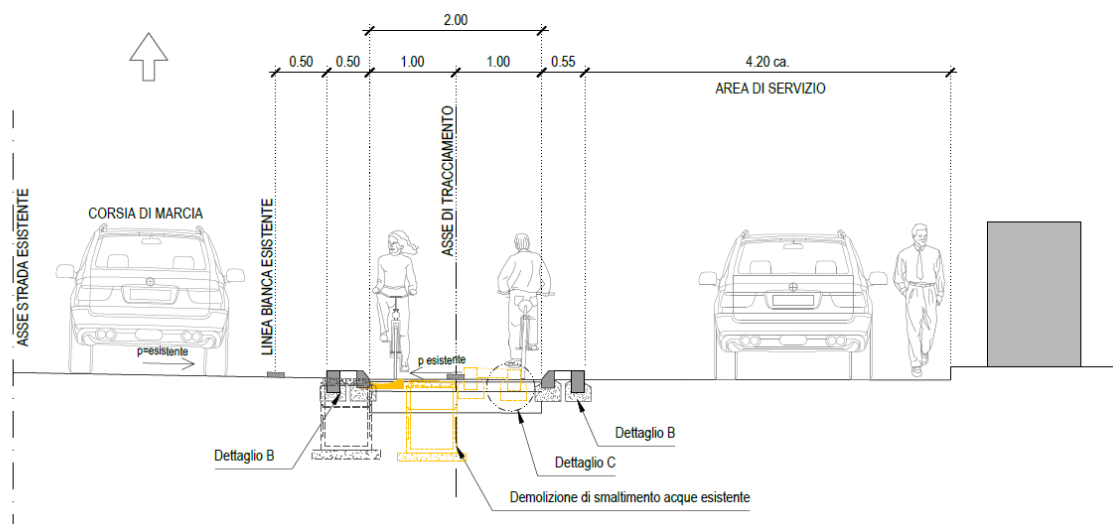


Figura 3-2: sezione tipo B

Nel tratto adiacente alle abitazioni private la ciclabile procede allargando la banchina esistente fino ad una larghezza minima di 50cm, al di fuori della quale viene inserito uno spartitraffico largo 50cm. Il fosso esistente viene quindi tombato tramite l'inserimento di un tubo in cls DN500. La ciclabile procede al di sopra di quest'ultimo in sede propria, con una larghezza maggiore o uguale a 2.50m (Figura 3-3) e pari alla distanza fra lo spartitraffico e le recinzioni esistenti.

SEZIONE TIPO C

SCALA 1:50

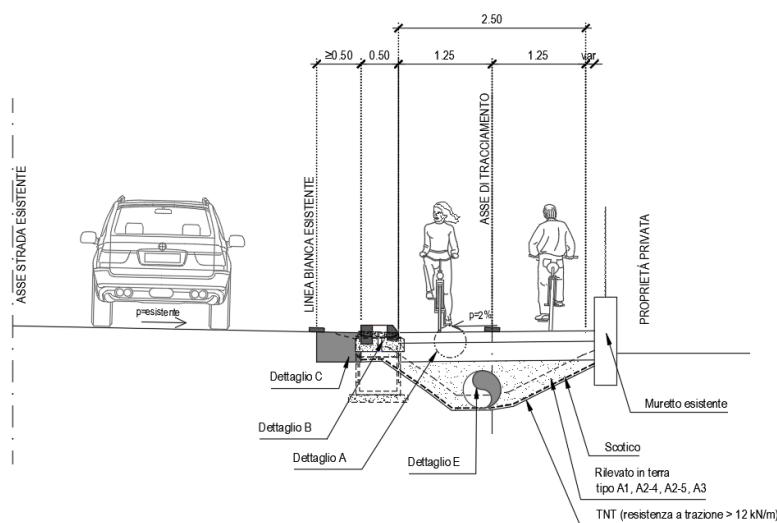


Figura 3-3: sezione tipo C

Nell'ultimo tratto è stata inserita una banchina maggiorata di larghezza pari a 1.00m, all'interno della quale alloggiare il sistema di smaltimento delle acque di piattaforma. In questo tratto, come da richiesta della Provincia di Modena, è stato inserito una barriera di sicurezza H1 bordo rilevato, che vincola la posizione della ciclabile ad una distanza minima di 1.00m dalla stessa, tale da garantire l'adeguato spazio di lavoro. Anche in questo tratti la ciclabile qui procede in sede propria con una larghezza di 2.50m, che si riduce a 1.90m negli ultimi metri dell'intervento, per raccordarsi con la ciclabile esistente. In questo tratto il fosso esistente viene spostato all'esterno della ciclabile. Inoltre, visto l'altezza non trascurabile del rilevato, che nel suo tratto più elevato arriva a 2.00m, viene previsto un parapetto a protezione dei ciclisti (Figura 3-4).

SEZIONE TIPO D

SCALA 1:50

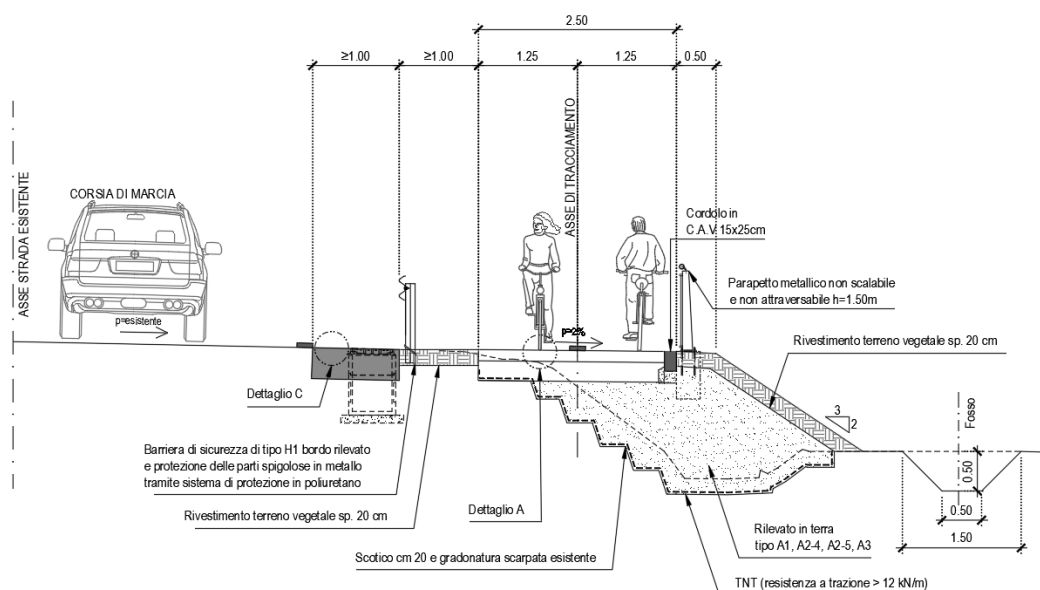


Figura 3-4: sezione tipo D

3.3. PAVIMENTAZIONI

La pavimentazione ciclabile, a meno del tratto in corrispondenza del benzinaio, sarà realizzata utilizzando un calcestruzzo drenante pigmentato in colore giallo ocra, così da garantire una migliore leggibilità dell'opera. Questo avrà uno spessore di 14cm, steso su una fondazione in pietrisco di 25cm, protetta da un geo tessuto di separazione per evitare la risalita di materiale fine.

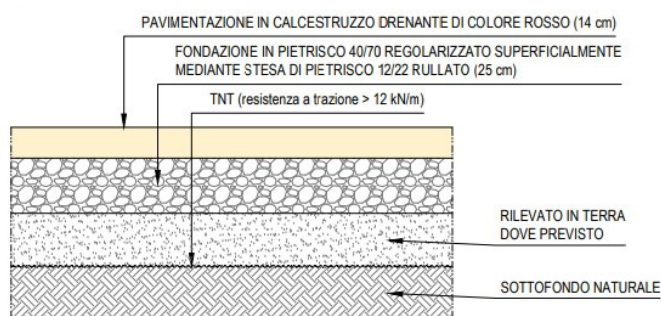


Figura 3-5: Dettaglio pavimentazione ciclabile in calcestruzzo drenante

Nel tratto lungo il piazzale del benzinaio, per coerenza con quanto già presente ai lati della ciclabile, sarà realizzata una pavimentazione in conglomerato bituminoso, così composta: strato di usura (3cm); strato di binder (11 cm); strato di misto cementato (25cm)

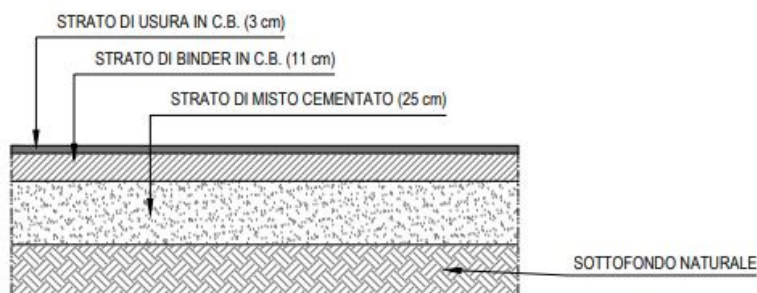


Figura 3-6: Dettaglio pavimentazione ciclabile in conglomerato bituminoso

3.4. ANDAMENTO PLANOALTIMETRICO

Di seguito viene riportata la composizione planimetrica del tracciato:

Tabella 3-1: elementi planimetrici del tracciato

N.	Elemento	Progressiva		
		iniziale	Sviluppo	Raggio
1	Rettifilo	0	7,11	
2	Raccordo	7,11	6,123	4,5
3	Rettifilo	13,233	12,083	
4	Raccordo	25,316	3,374	4,5
5	Rettifilo	28,69	10,189	
6	Raccordo	38,878	5,316	4,25
7	Rettifilo	44,194	10,95	
8	Raccordo	55,144	8,045	12
9	Rettifilo	63,189	16,067	
10	Raccordo	79,256	3,219	25
11	Rettifilo	82,475	9,385	
12	Raccordo	91,861	4,07	50
13	Rettifilo	95,93	19,027	
14	Raccordo	114,958	2,786	50
15	Rettifilo	117,743	8,584	
16	Raccordo	126,328	2,942	7
17	Rettifilo	129,27	1,913	
18	Raccordo	131,183	3,304	7
19	Rettifilo	134,487	84,123	
20	Raccordo	218,61	0,714	50
21	Rettifilo	219,323	40,9	
22	Raccordo	260,223	0,814	5
23	Rettifilo	261,037	5,338	



24	Raccordo	266,374	0,834	5
25	Rettifilo	267,208	21,165	
26	Raccordo	288,373	0,269	25
27	Rettifilo	288,642	51,261	
28	Rettifilo	339,903	6,229	
29	Raccordo	346,133	1,823	10
30	Rettifilo	347,955	1,303	
31	Raccordo	349,258	1,795	10
32	Rettifilo	351,053	31,108	

Dal punto di vista altimetrico invece la ciclabile segue l'andamento del ciglio esistente, con una livelletta orizzontale che non supera mai l'1.1%.

3.5. ANALISI DELLA VISIBILITA'

La distanza di visibilità per l'arresto è stata valutata in accordo al § 5.1.2 del D.M. 5 novembre 2001 - "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade". Sono valutate tre distanze di arresto, una da verificare dove il tracciato è pseudo-orizzontale, una da verificare in corrispondenza delle curve con raggio inferiore o uguale a 10m e una da verificare al termine di discese con pendenza pari o superiore al 5 %.

Tutte le distanze di visibilità sono calcolate in accordo con l'articolo 8, commi 1 e 2 del Decreto Ministeriale 30/11/1999 n°557 - "Regolamento recante norme per la definizione delle caratteristiche tecniche delle piste ciclabili".

La distanza di visibilità per l'arresto in piano è calcolata a partire dalle seguenti ipotesi:

- V_0 (velocità del veicolo all'inizio della frenatura) = 25 km/h;
- V_1 (velocità finale del veicolo) = 0 km/h;
- τ (tempo complessivo di reazione) = 1.5 s;
- g (accelerazione di gravità) = 9.81 m/s²;
- $f_i(V)$ (quota limite del coefficiente di aderenza impegnabile longitudinalmente per la frenatura) = costante = 0.35;
- $R_a(V)/m$ (resistenza aerodinamica/massa) \approx 0 N/kg;
- $r_0(V)$ (resistenza al rotolamento) \approx 0 N;
- i (pendenza) = 0.94 % (pendenza media del tracciato).

Con tali valori di input, si ottiene:

$$D_{A1} = 17.48 \text{ m.}$$

La distanza di visibilità per l'arresto in corrispondenza di curve con R minore o uguale a 10m è calcolata a partire dalle seguenti ipotesi:

- V_0 (velocità del veicolo all'inizio della frenatura) = 12.5 km/h;
- V_1 (velocità finale del veicolo) = 0 km/h;
- τ (tempo complessivo di reazione) = 1.5 s;
- g (accelerazione di gravità) = 9.81 m/s²;
- $f_i(V)$ (quota limite del coefficiente di aderenza impegnabile longitudinalmente per la frenatura) = costante = 0.35;



- $R_a(V)/m$ (resistenza aerodinamica/massa) ≈ 0 N/kg;
- r_0 (V) (resistenza al rotolamento) ≈ 0 N;
- i (pendenza) = 0.94 % (pendenza media del tracciato).

Con tali valori di input, si ottiene:

$$D_{A2} = 7.00 \text{ m.}$$

La distanza di visibilità per l'arresto in discesa è invece calcolata a partire dalle seguenti ipotesi:

- V_0 (velocità del veicolo all'inizio della frenatura) = 40 km/h;
- V_1 (velocità finale del veicolo) = 0 km/h;
- τ (tempo complessivo di reazione) = 1.5 s;
- g (accelerazione di gravità) = 9.81 m/s²;
- f_i (V) (quota limite del coefficiente di aderenza impegnabile longitudinalmente per la frenatura) = costante = 0.35;
- $R_a(V)/m$ (resistenza aerodinamica/massa) ≈ 0 N/kg;
- r_0 (V) (resistenza al rotolamento) ≈ 0 N;
- i (pendenza) = -5.0 %.

Con tali valori di input, si ottiene:

$$D_{A3} = 36.40 \text{ m.}$$

La pista ciclabile in progetto è tale per cui dalla mezzeria di ognuna delle corsie ciclabili, la distanza di visibilità nella direzione di marcia sia ovunque superiore rispetto a D_{A2} e, fuori dalle zone di approccio a curve di piccolo raggio (R minore o uguale 10m), sempre maggiori a D_{A1} .

In alcuni casi i raggi visuali fuoriescono, nelle curve di minor raggio, dalla sede ciclabile, sfruttando l'area occupata da marciapiede o arginelli, scarpate ed aiuole, ma dove ciò accade non sono presenti parapetti o altri ostacoli fissi alla reciproca visibilità da parte dei ciclisti.

3.6. INTERSEZIONI

L'attraversamento della strada provinciale verrà collocato in corrispondenza dell'isola spartitraffico in approccio alla rotonda. In questa maniera l'attraversamento viene spezzato in due parti rendendolo più sicuro. Inoltre, verrà ricavato all'interno dell'isola un tratto di circa 7m per la fermata fra un attraversamento e l'altro. Per incrementare ulteriormente i livelli di sicurezza dell'attraversamento si è deciso di interrompere la ciclabile e rendere l'attraversamento pedonale.

A protezione dell'attraversamento della strada provinciale sarà inserito un sistema di illuminazione, composto da due pali della luce e quattro segnali di attraversamento pedonale su tabella bifacciale retroilluminata a LED.

A completamento dell'attraversamento verrà poi predisposta la seguente segnaletica orizzontale e verticale: a 150m un cartello di pericolo che segnala la rotonda, a 100m un cartello che segnala l'attraversamento pedonale, a 50m un ulteriore cartello che segnala la presenza dell'attraversamento pedonale e, in prossimità della rotonda, un rallentatore ottico composto da quattro strisce orizzontali a spessore variabile e un pittogramma rappresentante l'attraversamento pedonale. Inoltre, verranno inseriti dei cartelli di pericolo attraversamento pedonale, un rallentatore ottico e un pittogramma di pericolo attraversamento pedonale anche nel ramo di uscita dalla rotonda.

L'attraversamento illuminato è così composto:

- Segnale di attraversamento retroilluminato e dotato di lampeggiante a led
- Dispositivo rilevatore di presenza
- Apparecchio illuminante a 230V

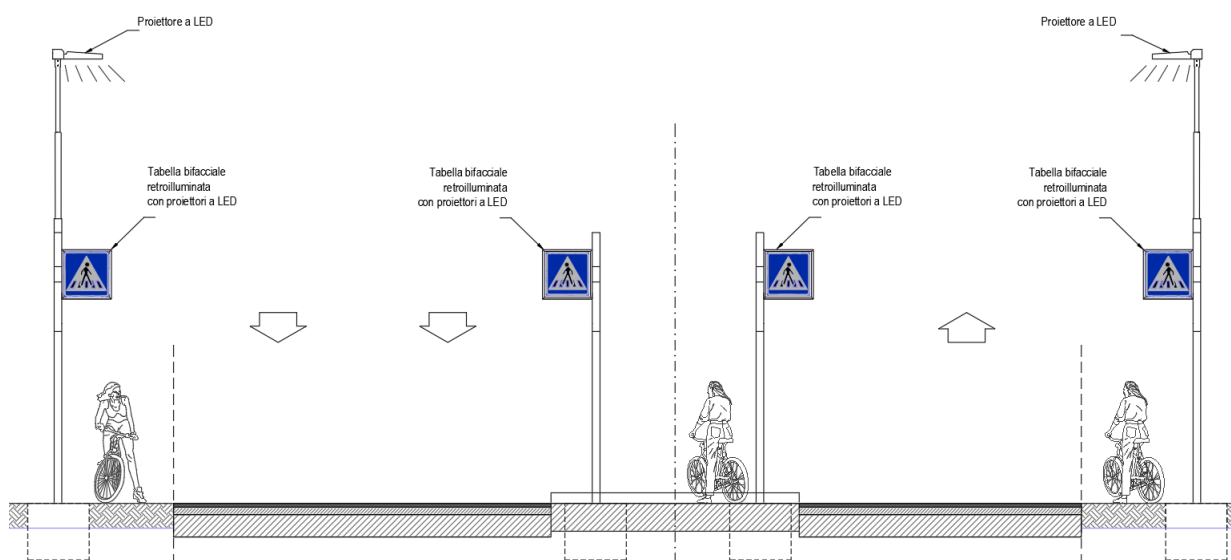


Figura 5-7: dettaglio attraversamento illuminato

3.7. SEGNALETICA VERCALE E ORIZZONTALE

La pista ciclabile ed i relativi attraversamenti sono segnalati sia all'utenza stradale, sia all'utenza della pista stessa, mediante idonea segnaletica orizzontale e verticale in accordo con le prescrizioni del - Decreto del Presidente della Repubblica 16 dicembre 1992, n. 495 - "Regolamento di esecuzione ed attuazione del N.C.S."

Per ulteriori dettagli si rimanda dagli specifici elaborati di progetto.

3.8. BARRIERE DI SICUREZZA

Vista la continuità fra strada e pista ciclabile, si è valutata la possibilità di inserire in progetto le barriere di sicurezza.

In prima battuta, vista la non cogenza delle barriere così come definito dal DM 18-02-1992 e successive modificazioni, vista la presenza di varie alberature, vista la presenza di diversi accessi che avrebbero reso difficile garantire lunghezza minima di installazione di tutte le barriere, oltre a rendere necessario l'inserimento dei terminali di sicurezza che rappresentano un elemento di rischio per i ciclisti, si è ritenuto di non prevedere in progetto l'installazione di guard-rails. La scelta è stata anche coadiuvata dalla possibilità di poter garantire fra la ciclabile e la strada una fascia di rispetto o almeno uno spartitraffico di larghezza pari a 0.50m.

Successivamente, in sede di conferenza dei servizi, è stata espresso dalla Provincia di Modena il parere che viene sintetizzato di seguito:

Tenuto conto che la ciclabile si sviluppa per lo più in ambito extraurbano, occorre prevedere la protezione dei ciclisti con barriere di sicurezza bordo laterale di classe H1:

- Nel tratto compreso fra la rotonda e la pompa di benzina: la barriera dovrà essere collocata a tergo delle alberature esistenti in modo che il suo funzionamento non sia pregiudicato dalla presenza delle stesse e dovrà avere uno sviluppo minimo dato dai certificati di omologazione che dipendono dalla barriera che verrà utilizzata in fase esecutiva.
- Nel tratto compreso fra il civico 62 e fine intervento: in questo caso, al fine di garantirne il funzionamento, occorrerà prevedere l'abbattimento dell'albero posto all'inizio del tratto dopo l'accesso. La barriera inoltre dovrà essere raccordata con quella esistente bordo ponte.

La prescrizione della Provincia di Modena è stata recepita con l'unica avvertenza che, lato Limidi, non è stato possibile eseguire il raccordo con la barriera esistente in quanto il Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale ha prescritto la creazione di un nuovo accesso alla pista arginale.

Coerentemente con la prescrizione, il progetto è stato integrato prevedendo l'installazione di barriere di sicurezza tipo H1 bordo rilevato con classe di deformazione W3/VI3 garantendo l'assenza di ostacoli nello spazio di lavoro della barriera. È prevista anche l'installazione di terminali speciali (attenuatori d'urto) di classe P2 nei punti di inizio/fine barriera (si veda Figura 3-8). A protezione delle parti spigolose in metallo della barriera è prevista l'installazione di elementi in poliuretano esemplificati nella Figura 3-9.

Si segnala che nel tratto iniziale compreso fra la rotonda e la stazione di rifornimento carburanti, concordemente con il parere della Provincia di Modena, l'installazione della barriera a tergo delle alberature è concepita unicamente come un elemento di presidio della pista ciclabile, ma non un elemento di sicurezza per i veicoli stradali. A questo proposito si segnala la concreta possibilità che un eventuale veicolo sviato dalla strada sia re indirizzato dalla barriera verso le alberature.

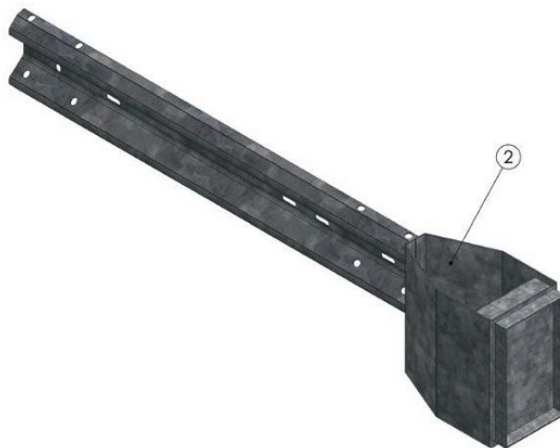


Figura 3-8: Esempio terminale classe P2



Figura 3-9: Sistema di protezione in poliuretano

3.9. RETE DI SMALTIMENTO ACQUE

Attualmente il sistema di smaltimento delle acque meteoriche lungo la strada provinciale è composto da una serie di fossi, che corrono parallelamente alla via, in parte tombati utilizzando condotte in calcestruzzo DN 500 in corrispondenza degli accessi privati e del piazzale dell'area di servizio.

Il progetto, nel tratto compreso fra la rotatoria e il piazzale del distributore carburanti, prevede il ripristino del fosso di guardia della strada, posizionandolo all'esterno della ciclabile e collegandolo con la rete di fossi esistente.

Nel piazzale dell'area di servizio è prevista la demolizione delle caditoie esistenti e il loro ripristino in corrispondenza dello spartitraffico della nuova ciclabile, collegando le stesse alla rete primaria tramite tubazioni DN250. Successivamente, nel tratto parallelo alle abitazioni e fino al civico 62, lo schema di smaltimento rimane inalterato con l'unica differenza che la tubazione principale è di nuova imposta.

Infine, nel tratto compreso fra il civico 62 e il ponte sul Cavo Lama sono previste una serie di caditoie a griglia nella banchina della strada provinciale, collegate da una tubazione DN250, che si collega al nuovo fosso di guardia esterno alla ciclabile. Il fosso previsto è a sezione trapezia di dimensioni $B = 2.00$ $b = 1$ cm $H = 75$ cm .

Di seguito verranno esposte alcune considerazioni riguardo al rispetto del principio di invarianza idraulica per l'area interessata dall'intervento.

3.9.1. STIMA PORTATA DI PROGETTO

Al fine di dimostrare il rispetto del principio di invarianza idraulica, è stata determinata la portata di progetto considerando la superficie del bacino afferente al fosso con recapito nel Cavo Lama pre-intervento, e la portata derivante dalla superficie della pista ciclabile.

La stima della portata di progetto è stata effettuata mediante metodo cinematico.

Tale metodologia presuppone che, durante un evento meteorico che si sviluppa con intensità “i” costante in spazio e tempo, la portata al colmo di pieni aumenti fino a un tempo pari al tempo di corrivazione, ovvero fino a quando l’area di tutto il bacino contribuisce al deflusso. La portata finale risulta quindi proporzionale al prodotto per mezzo del coefficiente di deflusso.

L’ipotesi adottata per il modello di calcolo è che il sistema idrologico sia lineare e invariante nel tempo ovvero che l’idrogramma, per assegnata precipitazione, dipenda dalle caratteristiche del bacino supposte stazionarie e indipendenti dall’evento considerato.

Con il metodo cinematico la portata massima al colmo alla sezione di chiusura del bacino viene calcolata mediante la seguente formula:

$$Q = 2.78 \cdot \varphi \cdot A \cdot a \cdot t_c^{n-1} [l/s]$$

φ = coefficiente di deflusso dell’area drenata [-];

a e n = parametri della curva di probabilità pluviometrica, [mm/oraⁿ] e [-];

A = superficie drenata [ha];

t_c = tempo di corrivazione [ore].

Al fine di una buona progettazione idraulica, per il dimensionamento e verifica è stato necessario definire la curva di possibilità pluviometrica di assegnato tempo di ritorno relativa a durate di pioggia critiche caratterizzate da tempi brevi e intensità elevata in quanto rappresentano la situazione più sfavorevole per la verifica del grado di riempimento della sezione idraulica.

La curva di possibilità pluviometrica utilizzata nel calcolo, per precipitazioni di durata $t < 1$ ora, con $T_r = 50$ anni è caratterizzata dalla seguente equazione:

$$h = 78.16 \cdot t^{0.16}$$

Inoltre, la modellizzazione richiede la definizione, di altri due parametri fondamentali: che hanno un preciso significato fisico: il coefficiente di deflusso φ e il tempo di corrivazione del bacino t_c .

3.9.1.1. COEFFICIENTE DI DEFLUSSO

Nei modelli di trasformazione dell’afflusso meteorico in deflusso, la determinazione della pioggia netta avviene per depurazione della frazione lorda caduta sul terreno considerando che una parte di questa si perde per effetto di infiltrazione e detenzione superficiale.

Il coefficiente di deflusso ϕ rappresenta il rapporto tra il volume totale dei deflussi superficiali ed il volume totale degli afflussi meteorici ed è definito sulla base della copertura della superficie scolante.

Visto che sono presenti aree caratterizzate da differenti coefficiente di deflusso, è stato necessario attribuire un valore per ogni area a differenti permeabilità e calcolare un coefficiente di deflusso equivalente rappresentativo delle trasformazioni avvenute nell'area di progetto, calcolato come media pesata dei coefficienti di deflusso delle singole sotto aree in cui è suddivisa l'area sottesa:

$$\varphi = \frac{\sum_i \varphi_i A_i}{\sum_i A_i}$$

La pista ciclabile, essendo realizzata mediante calcestruzzo drenante, è da considerare superficie semi permeabile.

In definitiva i coefficienti di deflussi adottati sono:

STATO ANTE OPERAM

- Aree impermeabili (strada e tetti delle abitazioni): $\varphi_{imp} = 0,9$
- Aree a prato: $\varphi_{per} = 0,25$.

INTERVENTO DI PROGETTO

- Aree semi permeabile (pista ciclabile realizzata in materiale drenante): $\varphi_{sper} = 0,5$

3.9.1.2. TEMPO DI CORRIVAZIONE

Il tempo di corrivazione del bacino, riferito alla sezione di calcolo, rappresenta il tempo caratteristico di formazione degli scorrimenti superficiali; esso dà una rappresentazione della rapidità con cui i deflussi netti si concentrano nelle sezioni di chiusura del bacino in esame ed è quindi fondamentale per la determinazione dell'idrogramma di piena e quindi della portata massima transitabile in una data sezione.

Per le reti urbane il tempo di corrivazione si calcola come somma di due contributi:

$$t_c = t_a + t_r \text{ [ore]}$$

Dove:

t_a = tempo di accesso in rete [ore].;

t_r = tempo di traslazione [ore].

Il tempo di entrata in rete t_a , ossia il tempo massimo necessario alle gocce d'acqua per raggiungere la rete di drenaggio dal punto di caduta, è di incerta determinazione poiché è funzione della densità della rete di drenaggio, della natura delle superfici scolanti e della pendenza della dell'area scolante; nel caso in oggetto si adotta un $t_a = 10 \text{ min}$.

Il tempo di traslazione t_r , ossia il tempo di percorrenza lungo i rami costituenti il percorso idraulicamente più lungo ("asta principale") a monte della sezione in esame, può essere valutato con la seguente relazione:

$$t_r = \sum_{i=1}^n L_i / 1.5 * v_i \text{ [ore]}$$

n = numero dei tronchi della rete a monte della generica sezione;

L_i = lunghezza del tronco i-esimo della condotta;

V_i = velocità di moto uniforme nel tronco i-esimo della condotta.

Poiché il criterio di far riferimento alla velocità di moto uniforme può portare ad apprezzabili sovrastime del tempo di concentrazione e pertanto a sottostime della portata al colmo, si è introdotto in forma cautelativa un fattore correttivo pari a 1.5.

Di seguito vengono riportate le portate calcolate, considerando sia la superficie afferente al bacino pre-intervento, sia la portata drenata esclusivamente dalla pista ciclabile.

PORTATA PRE-INTERVENTO											
		0.278	x	ϕ	x	i	x	A			
						mm/ora		km ²			
Q	=	0.278	x	0.57	x	250.45	x	0.008	=	0.330	m ³ /s

Tabella 3-2: Portata drenata considerando la superficie afferente al fosso pre-intervento

PORTATA DRENATA DALLA PISTA CICLABILE											
		0.278	x	ϕ	x	i	x	A			
						mm/ora		km ²			
Q	=	0.278	x	0.50	x	250.45	x	0.00050	=	0.017	m ³ /s

Tabella 3-3: Portata drenata dalla pista ciclabile

3.9.2. CONSIDERAZIONI SUL RISPETTO DEL PRINCIPIO DI INVARIANZA IDRAULICA

La modifica delle condizioni del suolo derivante dalla progettazione richiede la dimostrazione, tramite uno studio idrologico-idraulico, del rispetto del principio di invarianza idraulica, secondo cui la trasformazione dell'area deve avvenire senza generare un incremento della portata di piena del corpo idrico o della rete di drenaggio che riceve i deflussi provenienti dall'area stessa.

Il rispetto dell'invarianza idraulica è ottenibile, oltre che tramite l'adozione di buone pratiche costruttive, anche mediante l'adozione di misure compensative quali volumi di laminazione e dispositivi idraulici.

Nel caso in esame, è stata calcolata la portata drenata ante operam considerando l'intera superficie afferente al fosso, con recapito nel cavo Lama, e quella derivante dalla sola pista ciclabile.

I risultati hanno mostrato che la portata drenata dalla superficie della pista ciclabile corrisponde al 5% della portata pre-intervento, rendendo quindi trascurabile l'incremento della portata nel Cavo Lama.

Pertanto, alla luce delle considerazioni sopra esposte, si ritiene che non sia necessario intervenire con la laminazione della portata derivante dalla pista ciclabile, e che sia assicurato il rispetto del principio di invarianza idraulica.