

PROGETTO ESECUTIVO

AMPLIAMENTO DEL COMPARTO AUTODROMO DI MODENA

LOCALITA' MARZAGLIA – COMUNE DI MODENA

Provvedimento Autorizzatorio Unico (PAUR) e Valutazione di Impatto Ambientale (VIA), L.R. n. 4/2018, D.Lgs. 152/06

Progetto di modifica e ampliamento del comparto "Autodromo di Modena", in località Marzaglia, Comune di Modena (MO)



COMPARTO: AUTODROMO DI MODENA

PROPONENTE: AERAUTODROMO MODENA SPA

GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

- ARCHILINEA Srl
- BLUEWORKS – Ing. Yos Zorzi
- GEOGROUP Srl
- PRAXIS AMBIENTE Srl
- STUDIO TECNICO CAPELLARI
- STIEM – Ing. Paolo Scuderi e Ing. Luca Buzzoni
- ATEAM PROGETTI
- STUDIO GECO
- STUDIO TECNICO TADDIA
- Dott. Agr. Giovanni Mondani

RELAZIONE TECNICA IMP. ELETTRICI

STRADA

REALIZZAZIONE DI TRATTO STRADALE PER
L'ACCESSO SECONDARIO AL COMPARTO

INDICE

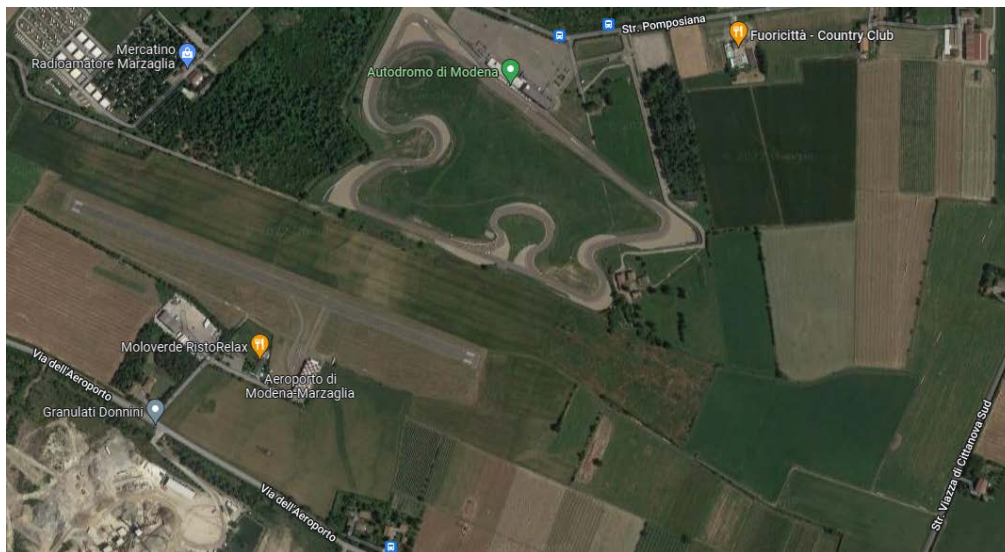
1. INTRODUZIONE	4
2. CRITERI DI PROGETTAZIONE	7
2.1. STRADALE	7
2.1.1. Andamento Planimetrico.....	7
2.1.2. Andamento Altimetrico.....	11
2.1.3. Analisi di visibilità.....	14
2.1.4. Intersezioni a rotatoria	17
3. DATI E VERICHE PLANO-ALTIMETRICHE.....	20
3.1. Elementi planimetri.....	20
3.2. Elementi altimetrici	24
3.3. Diagramma di visibilità	25
3.4. Verifiche degli svincoli a rotatoria.....	26
4. PACCHETTO STRADALE DI FONDAZIONE E TRANSITO E RELATIVE VERIFICHE	28
5. CONCLUSIONI.....	29
6. IDRAULICA STRADALE.....	30
7. Conclusioni.....	39

1. INTRODUZIONE

Per andare incontro alle esigenze dei test sui nuovi veicoli, alle esigenze sportive e tecnologiche è necessario ampliare la pista creando un nuovo anello stradale che possa collegarsi a quello attuale ma anche sviluppare autonomamente un'attività di prova sulle autovetture e sulle sue componentistiche che prevede ad esempio la necessità di lunghi tratti rettilinei (all'incirca della lunghezza di 1 Km), attualmente non presenti nella struttura in essere, al fine di rispondere alle esigenze delle case automobilistiche e di creare quella nuova struttura "SMART" che simuli la guida sui tratti autostradali necessaria a rispondere alle esigenze espresse dal decreto Ministeriale GU 28 febbraio 2018: ciò implica una nuova infrastruttura di circa 2,3 km di lunghezza per 12 m di larghezza (analoga a quella esistente) che verrà implementata da tutte le dotazioni di sicurezza e tecnologiche atte a dare seguito a quanto illustrato in termini di innovazione, permettendo al circuito di Modena di confermare il suo primato come infrastruttura di riferimento in Italia per lo sviluppo dei test di guida autonoma, di ampliare la sua offerta sportiva (in alcuni fine settimana), di offrire alle case motoristiche del territorio della Motor Valley quella infrastruttura che permetta in totale sicurezza di provare vetture e componentistiche senza dover ricorrere a situazioni stradali più pericolose e difficilmente utilizzabili: la vocazione del circuito non muta, ma si adegua alle diverse istanze nate in questo ultimo decennio.

Il primo intervento progettuale previsto riguarda dunque la necessità di realizzare un nuovo circuito con caratteristiche tecniche diverse da quello esistente e che possa avere una sua completa autonomia, in quanto fruibile in primo luogo dalle case costruttrici di autoveicoli per prove e test, e contemporaneamente per sviluppare le tecnologie della guida autonoma che consistono nel simulare su aree protette e tecnologicamente connesse e all'avanguardia, percorsi stradali ed autostradali.

Premesso questo il presente progetto si configura come la realizzazione delle opere stradali e di sicurezza necessarie alla costruzione di un circuito automobilistico per competizioni, test di guida e prove di guida sicura.



Stato di fatto – foto aerea



Stato di progetto – stralcio planimetrico

2. CRITERI DI PROGETTAZIONE

2.1. STRADALE

2.1.1. Andamento Planimetrico

La normativa di riferimento richiede il rispetto delle seguenti condizioni:

(a) *Raggio minimo delle curve planimetriche.*

Le curve circolari devono aver un raggio superiore al raggio minimo previsto dal DM 05/11/2001.

(b) *Relazione raggio della curva (R)/lunghezza del rettifilo (L) che la precede:*

$$\begin{aligned} \text{per } L < 300 \text{ m} \quad R &\geq L \\ \text{per } L \geq 300 \text{ m} \quad R &\geq 400 \text{ m} \end{aligned}$$

(c) *Compatibilità tra i raggi di due curve successive.*

Nel caso di passaggio da curve di raggio più grande a curve a curve di raggio più piccolo si dovrà fare riferimento all'abaco dalla norma

(d) *Lunghezza massima dei rettifili:*

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

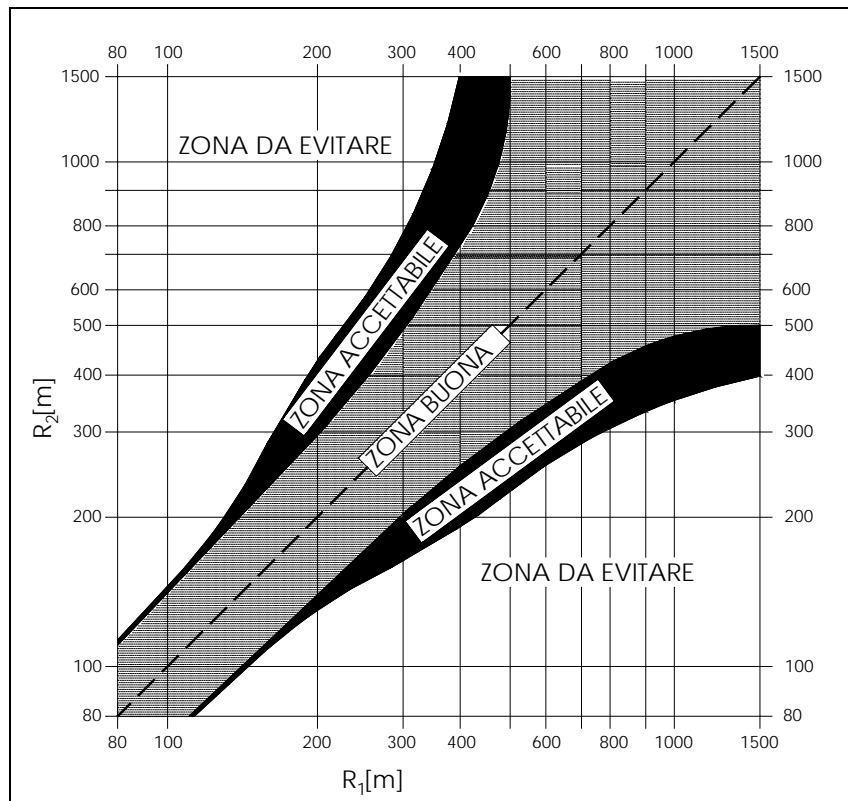
dove V è la velocità massima dell'intervallo delle velocità dei progetto, espressa in km/h ed L si ottiene in metri.

(e) *Lunghezza minima dei rettifili.*

La verifica è stata eseguita facendo riferimento alla tabella della norma; per velocità la norma intende la massima desunta dal diagramma di velocità per il rettifilo considerato.

V_p [km/h]	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
L_{\min} [m]	30	40	50	65	90	115	150	190	250	300	360

Lunghezza minima dei rettifili in relazione alla velocità



Abaco di Koppel (DM 05/ 11/01)

(f) *Congruenza del diagramma delle velocità.*

La norma prevede che per $V_{p,max} \leq 100$ km/h (e quindi per strade tipo C) nel passaggio da tratti caratterizzati dalla $V_{p,max}$ a curve a velocità inferiore, la differenza di velocità di progetto non deve superare 10 km/h (f1). Inoltre, fra due curve successive (nel caso di $V_{p1} > V_{p2}$) tale differenza, comunque mai superiore a 20 km/h, è consigliabile che non superi i 15 km/h (f2).

La costruzione del diagramma di velocità lungo l'asse stradale è stata effettuata secondo quanto prescritto dal DM 05/11/2001 e di seguito riportato.

- la velocità è mantenuta costante lungo lo sviluppo delle curve con raggio inferiore a $R_{2,5}$;
- la velocità varia crescendo verso la velocità massima dell'intervallo di progetto lungo i rettifili, le clotoidi e gli archi con raggio non inferiore a $R_{2,5}$;

- Il valore di accelerazione e decelerazione è pari a 0,8 m/s². Tale valore è stato mantenuto invariato anche per i tratti in approccio alle intersezioni con schema a rotatoria.
- In corrispondenza delle rotatorie si è assunta una velocità di percorrenza pari a 25 km/h, tale velocità è stata ipotizzata come vertice inferiore del diagramma delle velocità nei punti terminale di ciascun asse afferente a una rotatoria
- La pendenza longitudinale non influenza la velocità di progetto.

(g) Lunghezza minima delle curve circolari.

La Norma prevede che una curva circolare, per essere percepita dagli utenti deve essere percorsa per almeno 2.5 secondi e quindi deve avere uno sviluppo minimo pari a:

$$L_{c,min}=2.5 \cdot v_P$$

con v_P in m/s ed $L_{c,min}$ in m.

(h) Verifica del parametro A degli elementi a curvatura variabile (Clotoidi)

Criterio 1 - Limitazione del contraccollo

Affinché lungo un arco di clotoide si abbia una graduale variazione dell'accelerazione trasversale non compensata nel tempo (contraccollo), fra il parametro A e la massima velocità V (km/h), desunta dal diagramma di velocità, per l'elemento di clotoide deve essere verificata la relazione:

$$A_{min} = \sqrt{\frac{v^3}{c} - \frac{g v R \cdot (q_f - q_i)}{c}}$$

dove:

- c = contraccollo;
- v = massima velocità (m/s), desunta dal diagramma di velocità, per l'elemento di clotoide considerato;
- q_i = pendenza trasversale nel punto iniziale della clotoide;
- q_f = pendenza trasversale nel punto finale della clotoide;
- g = accelerazione di gravità.

Ponendo $c = \frac{14}{v(m/s)} = \frac{50.4}{V(km/h)}$ si ottiene:

$$A_{\min} = \sqrt{\frac{v^4}{14} - \frac{gv^2 R \cdot (q_f - q_i)}{14}} = \frac{v}{\sqrt{14}} \sqrt{v^2 - gR \cdot (q_f - q_i)}$$

che, esprimendo la velocità in km/h diviene:

$$A_{\min} = \frac{V}{3,6\sqrt{14}} \sqrt{\frac{V^2}{12,96} - gR \cdot (q_f - q_i)}$$

Il DM 6792/2001 propone, in alternativa, di effettuare il calcolo con una formula approssimata che non tiene conto della componente dell'accelerazione centripeta compensata dalla variazione di pendenza trasversale. L'espressione per il calcolo di A_{\min} diventa, in questo caso:

$$A_{\min} = \frac{V^2}{12,96\sqrt{14}} = 0.0206125 \cdot V^2 \cong 0.021 \cdot V^2$$

Criterio 2 - Sovrapendenza longitudinale delle linee di estremità della carreggiata

Nelle sezioni di estremità di un arco di clotoide la carreggiata stradale presenta differenti pendenze trasversali, che vanno raccordate longitudinalmente, introducendo una sovrappendenza nelle linee di estremità della carreggiata rispetto alla pendenza dell'asse di rotazione. Nel caso in cui il raggio iniziale sia di valore infinito (rettilineo o punto di flesso), il parametro deve verificare la seguente disuguaglianza:

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

dove:

- B_i = distanza fra l'asse di rotazione ed il ciglio della carreggiata nella sezione iniziale della curva a raggio variabile;
- i_{\max} (%) = sovrappendenza longitudinale massima della linea costituita dai punti che distano B_i dall'asse di rotazione; in assenza di allargamento tale linea coincide con l'estremità della carreggiata;

- $q_i = \frac{i_{ci}}{100}$ dove i_{ci} = pendenza trasversale iniziale
- $q_f = \frac{i_{cf}}{100}$ con i_{cf} = pendenza trasversale finale
- $|q_i + q_f|$ è il valore assoluto della somma delle pendenze trasversali

Nel caso di curve di continuità il medesimo criterio diventa:

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

Criterio 3 - Ottico

Per garantire la percezione ottica del raccordo e del successivo cerchio deve essere verificata la relazione:

$$R/3 \leq A \leq R$$

che, nel caso di clotoidi di continuità, diventa:

$$R_2/3 \leq A \leq R_1$$

dove R_1 è il raggio minore ed R_2 il raggio maggiore dei due cerchi raccordati con la clotoide di continuità.

Oltre ai criteri precedentemente descritti si è proceduto alla verifica del rapporto A_E/A_U delle due clotoidi in ingresso e in uscita da una curva circolare e del rapporto A_1/A_2 tra due clotoidi in un flesso asimmetrico, secondo quanto prescritto dal D.M. 5/11/2001:

$$2/3 \leq A_E/A_U \leq 3/2 \quad 2/3 \leq A_1/A_2 \leq 3/2$$

2.1.2. Andamento Altimetrico

La normativa di riferimento richiede il rispetto delle seguenti condizioni:

(i) *Pendenze longitudinali massime*

La pendenza massima delle livellette, consentita dal DM 05/11/01 per strade di tipo F è pari al 7%.

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

(j) *Raccordi verticali convessi*

In base a quanto indicato dalla norma il raggio minimo dei raccordi verticali convessi (dossi) viene determinato come di seguito:

–se D è inferiore allo sviluppo L del raccordo si ha

$$R_v = \frac{D^2}{2 \cdot (h_1 + h_2 + 2 \cdot \sqrt{h_1 \cdot h_2})}$$

–se invece $D > L$

$$R_v = \frac{2 \cdot 100}{\Delta i} \cdot \left[D - 100 \cdot \frac{h_1 + h_2 + 2 \cdot \sqrt{h_1 \cdot h_2}}{\Delta i} \right]$$

dove:

- R_v = raggio del raccordo verticale convesso [m]
- D = distanza di visibilità da realizzare per l'arresto di un veicolo di fronte ad un ostacolo fisso [m]
- Δi = variazione di pendenza delle due livellette, espressa in percento
- h_1 = altezza sul piano stradale dell'occhio del conducente [m]
- h_2 = altezza dell'ostacolo [m]

Si pone di norma $h_1 = 1.10$ m. In caso di visibilità per l'arresto di un veicolo di fronte ad un ostacolo fisso, si pone $h_2 = 0.10$ m. In caso di visibilità necessaria per il cambiamento di corsia si pone $h_2 = 1.10$ m.

(k) *Raccordi verticali concavi*

In base a quanto indicato dalla norma il raggio minimo dei raccordi verticali concavi (sacche) viene determinato come di seguito:

se D è inferiore allo sviluppo del raccordo si ha

$$R_v = \frac{D^2}{2 \cdot (h + D \cdot \sin \vartheta)}$$

se invece $D > L$

$$R_v = \frac{2 \cdot 100}{\Delta i} \cdot \left[D - \frac{100}{\Delta i} \cdot (h + D \cdot \sin \vartheta) \right]$$

dove:

- R_v = raggio del raccordo verticale concavo [m]
- D = distanza di visibilità da realizzare per l'arresto di un veicolo di fronte ad un ostacolo fisso [m].
- Δi = variazione di pendenza delle due livellette espressa in percento
- h = altezza del centro dei fari del veicolo sul piano stradale
- ϑ = massima divergenza verso l'alto del fascio luminoso rispetto l'asse del veicolo.

Si pone di norma $h = 0.5$ m e $\vartheta = 1^\circ$.

La distanza di visibilità per il sorpasso è stata calcolata analogamente a quanto descritto per la verifica dei raccordi verticali convessi.

2.1.3. Analisi di visibilità

Per distanza di visuale libera (DVL) 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.

Secondo quanto indicato dalle "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" (DM 05/11/2001, prot. N° 6792), lungo il tracciato stradale la distanza di visuale libera deve essere confrontata, nel caso di strade ad unica carreggiata, con le seguenti distanze:

- **Distanza di visibilità per l'arresto**, che è pari allo spazio minimo necessario perché un conducente possa arrestare il veicolo in condizione di sicurezza davanti ad un ostacolo imprevisto. Questo valore deve essere garantito lungo lo sviluppo del tracciato.
- **Distanza di visibilità per la manovra di sorpasso**, che è pari alla lunghezza del tratto di strada occorrente per compiere una manovra completa di sorpasso in sicurezza, quando non si possa escludere l'arrivo di un veicolo in senso opposto.

La verifica di visibilità per l'arresto consiste nel confrontare le distanze di visuale libera per l'arresto (determinate lungo l'intero sviluppo del tracciato sia in corsia di sorpasso che in corsia di marcia lenta adottando un'altezza dell'occhio del guidatore a 1.10 m dal piano viabile ed un'altezza dell'ostacolo fisso di 0.10 m e collocando trasversalmente i punti di vista e di mira al centro della corsia) con le distanze di visuale libera per l'arresto calcolate in funzione del diagramma di velocità del tracciato ed del suo andamento altimetrico (variazione della pendenza longitudinale)

Il valore di aderenza adottato nel calcolo delle distanze di arresto è quello proposto dal D.M. 5/11/2001, riferito a condizioni di strada bagnata.

VELOCITA' (km/h)	25	40	60	80	100	120	140
f _i	0.45	0.43	0.35	0.30	0.25	0.21	-

DM 6792/2001, coefficienti di aderenza impegnabile longitudinalmente

Per il calcolo è stata utilizzata la formula riportata al paragrafo 5.1.2. del DM 05/11/2001. Si è valutata la distanza di arresto punto per punto (passo 10 metri) in funzione della velocità di progetto (secondo quanto specificato in precedenza) e della pendenza longitudinale con la seguente espressione:

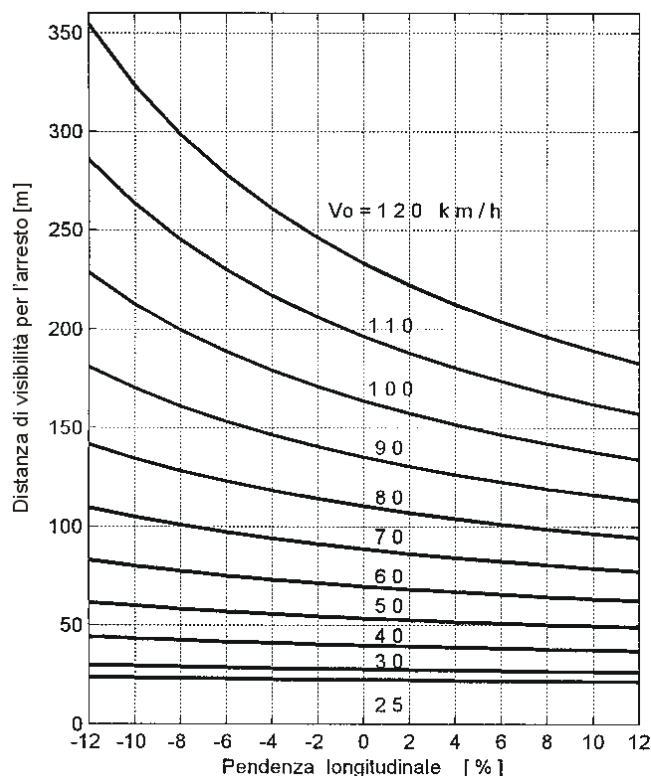
$$D_A = D_1 + D_2 = \frac{V_0}{3,6} \times \tau - \frac{1}{3,6^2} \int_{V_0}^{V_1} \frac{V}{g \times \left[f_l(V) \pm \frac{i}{100} \right] + \frac{Ra(V)}{m} + r_0(V)} dV \quad [m]$$

dove:

- D1 = spazio percorso nel tempo τ
- D2 = spazio di frenatura
- V0 = velocità del veicolo all'inizio della frenatura [km/h]
- V1 = velocità finale del veicolo, in cui V1 = 0 in caso di arresto [km/h]
- i = pendenza longitudinale del tracciato[%]
- τ = tempo complessivo di reazione (percezione, riflessione, reazione e attuazione) [s]
- g = accelerazione di gravità [m/s²]
- Ra = resistenza aerodinamica[N]
- m = massa del veicolo [kg]
- fl = quota limite del coefficiente di aderenza impegnabile longitudinalmente per la frenatura
- r0 = resistenza unitaria al rotolamento, trascurabile [N/kg]
- Per il tempo complessivo di reazione si sono assunti valori linearmente decrescenti con la velocità da 2,6 s per 20 km/h, a 1,4 s per 140 km/h, in considerazione della attenzione più concentrata alle alte velocità:

$$\tau = (2,8 - 0,01V) \quad [s] \quad \text{con } V \text{ in km/h}$$

Il D.M. 5/11/2001 definisce un abaco di correlazione tra la pendenza longitudinale e la distanza di arresto valido in condizione di pendenza costante. Nei tratti di variabilità di detta pendenza, ovvero in corrispondenza dei raccordi verticali, è stato assunto per essa il valore medio, così come suggerito dalla stessa normativa.



La **verifica di visibilità per il sorpasso** è stata condotta confrontando le distanze di visuale libera per il sorpasso con le corrispondenti distanze visibilità lungo tutto il tracciato.

Le distanze di visuale libera per il sorpasso sono state determinate considerando l'ostacolo mobile collocato nella corsia opposta, con altezza pari a 1,10.

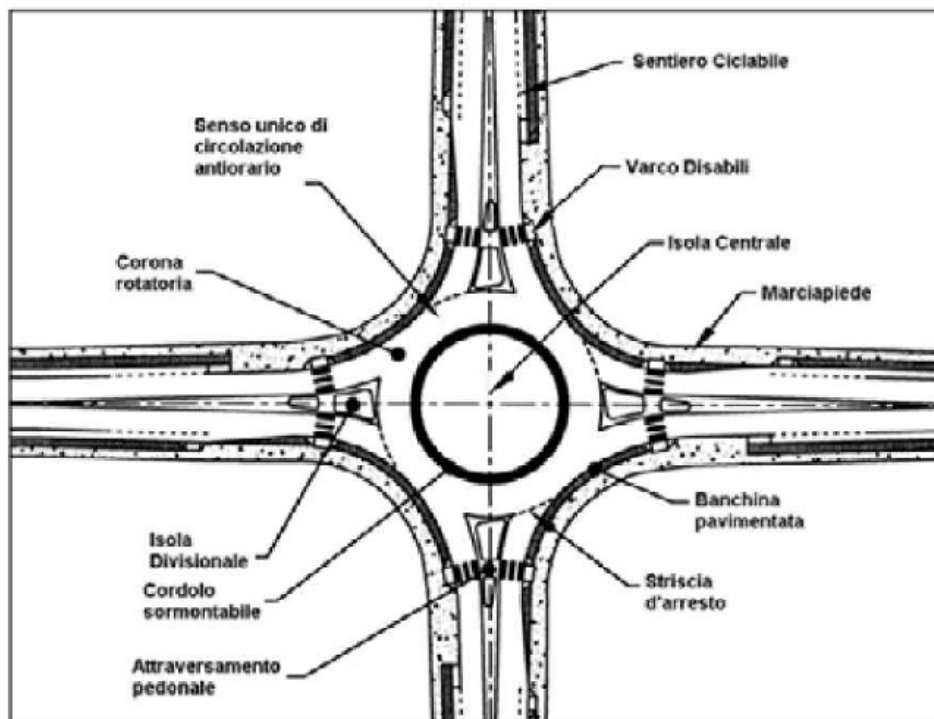
Per il calcolo delle distanze di visibilità è stata utilizzata la formula riportata al paragrafo 5.1.3. del DM 05/11/2001:

$$D_s = 20 \times v = 5,5 V \quad [m]$$

dove:

- v = velocità del veicolo in [m/s], op. V in [km/h], desunta puntualmente dal diagramma delle velocità ed attribuita uguale sia per il veicolo in fase di sorpasso che per il veicolo proveniente in senso opposto.

2.1.4. Intersezioni a rotatoria



Elementi di progetto delle rotatorie

In tabella si riportano le larghezze degli elementi modulari, come definite dalla normativa vigente:

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

(*) deve essere organizzata sempre su una sola corsia.

(**) organizzati al massimo con due corsie.

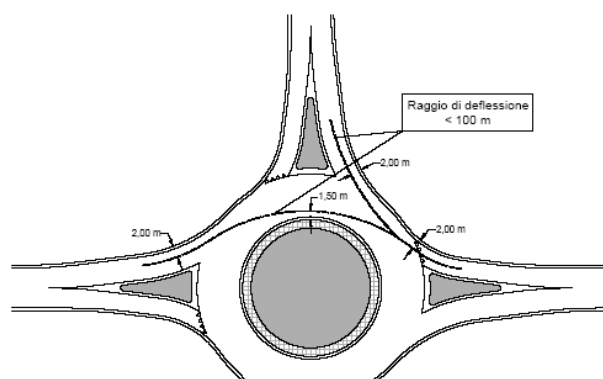
La norma non fornisce chiare indicazioni relativamente alle dimensioni delle banchine da prevedere nella corona rotatoria. Per quanto riguarda la banchina esterna è stata assunta una larghezza pari a 1.00m come anche per la banchina

interna, incrementabili se necessario ai fini della funzionalità della rotatoria in relazione agli ingombri dei veicoli pesanti, previa verifica del rispetto degli angoli di deflessione.

La regola principale per il disegno progettuale delle rotatorie riguarda il controllo della deflessione delle traiettorie in attraversamento del nodo, ed in particolare le traiettorie che interessano due rami opposti o adiacenti rispetto all'isola centrale.

Lo scopo primario delle rotatorie è un assoluto controllo delle velocità all'interno dell'incrocio ed è essenziale che la geometria complessiva impedisca valori cinematici superiori ai limiti usualmente assunti a base di progetto.

La normativa definisce deflessione di una traiettoria il raggio dell'arco di circonferenza passante a 1,5 m dal bordo dell'isola centrale e a 2 m dal bordo delle corsie d'entrata e d'uscita, siano esse adiacenti o opposte (si veda la figura sotto riportata). Occorre verificare l'ampiezza del raggio di deflessione per le manovre relative ad ogni braccio di ingresso e uscita. Tale raggio deve essere inferiore a 100 metri: in tal modo la velocità in rotatoria non potrà mai essere superiore ai 50 Km/h.

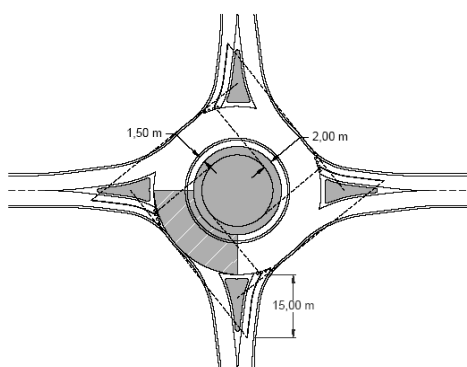


Costruzione della verifica di deflessione da garantire nelle rotatorie

Gli utenti che si avvicinano ad una rotatoria devono percepire i veicoli con precedenza all'interno della corona in tempo per modificare la propria velocità per cedere il passaggio o eventualmente fermarsi. In particolare, onde garantire un'adeguata visibilità, si devono adottare le seguenti prescrizioni:

- il punto di osservazione si pone ad una distanza di 15 m dalla linea di arresto coincidente con il bordo della circonferenza esterna;
- la posizione planimetrica si pone sulla mezzeria della corsia di entrata in rotatoria (o delle corsie di entrata) e l'altezza di osservazione si colloca ad 1 m sul piano viabile;
- la zona di cui è necessaria la visibilità completa corrisponde al quarto di corona giratoria posta alla sinistra del canale di accesso considerato.

La modalità di costruzione delle aree di visibilità è rappresentata nella figura seguente.



Costruzione dell'area di visibilità da garantire nelle rotatorie

3. DATI E VERICHE PLANO-ALTIMETRICHE

Di seguito si riportano i dati e le verifiche plano-altimetrici che caratterizzano la viabilità in oggetto.

3.1. ELEMENTI PLANIMETRI

ASSE PRINCIPALE 1

Dati generali asse	
Tipo piattaforma:	Carreggiata singola
Posizione asse:	Centro
Tipo normativa:	ITA - Normativa stradale 2002 - Italia
Tipo strada:	F1 - Locale Extraurbana
Velocità minima:	40.00
Velocità massima:	100.00

✓ 1 Rettifilo - N. 1	Lunghezza: 105.958	Elemento	Riferimento	Velocità
● Lunghezza minima		105.958	31.478	41.48
● Lunghezza massima		105.958	912.511	41.48

✓ 2 Clotoide - N. 1	Parametro A: 59.000	Lunghezza: 26.777	Elemento	Riferimento	Velocità
● Parametro A minimo da limitazione della pendenza longitudinale dei cigli			59.000	56.769	46.97
● Parametro A minimo da criterio ottico			59.000	43.333	
● Parametro A massimo da criterio ottico			59.000	130.000	
● Rapporto parametri A da criterio ottico			0.763	0.667	
● Parametro A minimo da limitazione del contraccolpo Formula esatta			59.000	37.042	46.97

✓ 3 Raccordo - N. 1	Raggio: 130.000	Lunghezza: 38.505	Elemento	Riferimento	Velocità
● Raggio minimo in funzione della velocità			130.000	44.994	40.00
● Lunghezza minima per una corretta percezione			38.505	38.103	54.87
● Raggio minimo dal rettifilo precedente			130.000	105.958	

✓ 4 Clotoide - N. 2	Parametro A: 77.300	Lunghezza: 45.964	Elemento	Riferimento	Velocità
● Parametro A minimo da limitazione della pendenza longitudinale dei cigli			77.300	66.418	64.30
● Parametro A minimo da criterio ottico			77.300	43.333	
● Parametro A massimo da criterio ottico			77.300	130.000	
● Rapporto parametri A da criterio ottico			1.310	0.667	
● Parametro A minimo da limitazione del contraccolpo Formula esatta			77.300	77.201	64.30

✓ 5 Rettifilo - N. 2	Lunghezza: 75.265	Elemento	Riferimento	Velocità
● Lunghezza minima		75.265	67.739	71.10
● Lunghezza massima		75.265	1564.107	71.10

6 Clotoide - N. 3	Parametro A: 78.000 Lunghezza: 78.000	Elemento	Riferimento	Velocità
Parametro A minimo da limitazione della pendenza longitudinale dei cigli		78.000	51.298	63.92
Parametro A minimo da criterio ottico		78.000	26.000	
Parametro A massimo da criterio ottico		78.000	78.000	
Rapporto parametri A da criterio ottico		1.300	0.667	

7 Raccordo - N. 2	Raggio: 78.000 Lunghezza: 63.042	Elemento	Riferimento	Velocità
Raggio minimo in funzione della velocità		78.000	44.994	40.00
Lunghezza minima per una corretta percezione		63.042	35.164	50.64
Raggio minimo dal rettifilo precedente		78.000	75.265	
Raggio minimo dal rettifilo successivo		78.000	50.532	

8 Clotoide - N. 4	Parametro A: 60.000 Lunghezza: 46.154	Elemento	Riferimento	Velocità
Parametro A minimo da limitazione della pendenza longitudinale dei cigli		60.000	43.484	45.93
Parametro A minimo da criterio ottico		60.000	26.000	
Parametro A massimo da criterio ottico		60.000	78.000	
Rapporto parametri A da criterio ottico		0.769	0.667	

9 Rettifilo - N. 3	Lunghezza: 50.532	Elemento	Riferimento	Velocità
Lunghezza minima		50.532	30.000	34.06
Lunghezza massima		50.532	749.368	34.06

ASSE PRINCIPALE 2

Dati generali asse	
Tipo piattaforma:	Carreggiata singola
Posizione asse:	Centro
Tipo normativa:	ITA - Normativa stradale 2002 - Italia
Tipo strada:	F1 - Locale Extraurbana
Velocità minima:	40.00
Velocità massima:	100.00

1 Rettifilo - N. 1	Lunghezza: 127.384	Elemento	Riferimento	Velocità
Lunghezza minima		127.384	35.793	45.79
Lunghezza massima		127.384	1007.438	45.79

2 Clotoide - N. 1	Parametro A: 130.000 Lunghezza: 33.800	Elemento	Riferimento	Velocità
Parametro A minimo da limitazione del contraccollo Formula approssimata		130.000	56.650	51.94
Parametro A minimo da limitazione della pendenza longitudinale dei cigli		130.000	113.483	51.94
Parametro A massimo da criterio ottico		130.000	500.000	
Rapporto parametri A da criterio ottico		1.000	0.667	
Parametro A minimo da limitazione del contraccollo Formula esatta		130.000	15.211	51.94

3 Raccordo - N. 1	Raggio: 500.000 Lunghezza: 42.600	Elemento	Riferimento	Velocità
● Raggio minimo in funzione della velocità		500.000	44.994	40.00
● Lunghezza minima per una corretta percezione		42.600	41.448	59.68
● Raggio minimo dal rettilo precedente		500.000	127.384	

4 Clotilde - N. 2	Parametro A: 130.000 Lunghezza: 33.800	Elemento	Riferimento	Velocità
● Parametro A minimo da limitazione del contraccollo Formula approssimata		130.000	91.007	65.83
● Parametro A minimo da limitazione della pendenza longitudinale dei cigli		130.000	127.761	65.83
● Parametro A massimo da criterio ottico		130.000	500.000	
● Rapporto parametri A da criterio ottico		1.000	0.667	
● Parametro A minimo da limitazione del contraccollo Formula esatta		130.000	58.198	65.83

5 Rettilo - N. 2	Lunghezza: 96.697	Elemento	Riferimento	Velocità
● Lunghezza minima		96.697	66.682	70.67
● Lunghezza massima		96.697	1554.799	70.67

6 Clotilde - N. 3	Parametro A: 65.000 Lunghezza: 43.245	Elemento	Riferimento	Velocità
● Parametro A minimo da limitazione della pendenza longitudinale dei cigli		65.000	53.999	56.55
● Parametro A minimo da criterio ottico		65.000	32.567	
● Parametro A massimo da criterio ottico		65.000	97.700	
● Parametro A minimo da limitazione del contraccollo Formula esatta		65.000	59.907	56.55

7 Raccordo - N. 2	Raggio: 97.700 Lunghezza: 77.322	Elemento	Riferimento	Velocità
● Raggio minimo in funzione della velocità		97.700	44.994	40.00
● Lunghezza minima per una corretta percezione		77.322	33.218	47.83
● Raggio minimo dal rettilo precedente		97.700	96.697	

8 Clotilde - N. 4	Parametro A: 40.800 Lunghezza: 17.038	Elemento	Riferimento	Velocità
● Parametro A minimo da limitazione della pendenza longitudinale dei cigli		40.800	40.778	32.25
● Parametro A minimo da criterio ottico		40.800	32.567	
● Parametro A massimo da criterio ottico		40.800	97.700	
● Parametro A minimo da limitazione del contraccollo Formula esatta		40.800	14.586	32.25

9 Rettilo - N. 3	Lunghezza: 30.588	Elemento	Riferimento	Velocità
● Lunghezza minima		30.588	30.000	30.00
● Lunghezza massima		30.588	660.000	30.00

10 Clotilde - N. 5	Parametro A: 38.800 Lunghezza: 15.847	Elemento	Riferimento	Velocità
● Parametro A minimo da limitazione della pendenza longitudinale dei cigli		38.800	38.784	30.00
● Parametro A minimo da criterio ottico		38.800	31.667	
● Parametro A massimo da criterio ottico		38.800	95.000	
● Rapporto parametri A da criterio ottico		0.872	0.667	
● Parametro A minimo da limitazione del contraccollo Formula esatta		38.800	11.681	30.00

✓ 11	Raccordo - N. 3	Raggio: 95.000 Lunghezza: 46.300	Elemento	Riferimento	Velocità
●	Raggio minimo in funzione della velocità		95.000	44.994	40.00
●	Lunghezza minima per una corretta percezione		46.300	23.693	34.12
●	Raggio minimo dal rettilo precedente		95.000	30.588	
●	Raggio minimo dal rettilo successivo		95.000	88.024	

✓ 12	Clotoide - N. 6	Parametro A: 44.500 Lunghezza: 20.845	Elemento	Riferimento	Velocità
●	Parametro A minimo da limitazione della pendenza longitudinale dei cigli		44.500	44.194	38.95
●	Parametro A minimo da criterio ottico		44.500	31.667	
●	Parametro A massimo da criterio ottico		44.500	95.000	
●	Rapporto parametri A da criterio ottico		1.147	0.667	
●	Parametro A minimo da limitazione del contraccolpo Formula esatta		44.500	25.070	38.95

✓ 13	Rettilo - N. 4	Lunghezza: 88.024	Elemento	Riferimento	Velocità
●	Lunghezza minima		88.024	49.377	59.38
●	Lunghezza massima		88.024	1306.287	59.38

È doveroso commentare i dati presenti all'interno delle tabelle appena riportate.



Da quanto si evince in seguito alla lettura dei tabulati di output, la viabilità in oggetto risulta rispondente alla normativa vigente in tutti i suoi elementi planimetrici, criterio fondamentale per una nuova infrastruttura come quella in progetto.



Nonostante i diversi vincoli che la progettazione ha dovuto considerare: presenza dell'aeroporto e delle relative distanze di sicurezza, viabilità esistenti, corridoio d'esproprio, il nuovo tracciato stradale risponde a pieno alla normativa vigente DM2001.



3.2. ELEMENTI ALTIMETRICI

ASSE PRINCIPALE 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: 0.447%	Elemento	Riferimento	Velocità
 Pendenza massima		0.447%	7.000%	



 2 Livelletta - N. 2	Pendenza: 0.939%	Elemento	Riferimento	Velocità
 Pendenza massima		0.939%	7.000%	



 3 Livelletta - N. 3	Pendenza: -0.001%	Elemento	Riferimento	Velocità
 Pendenza massima		0.001%	7.000%	

ASSE PRINCIPALE 2

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

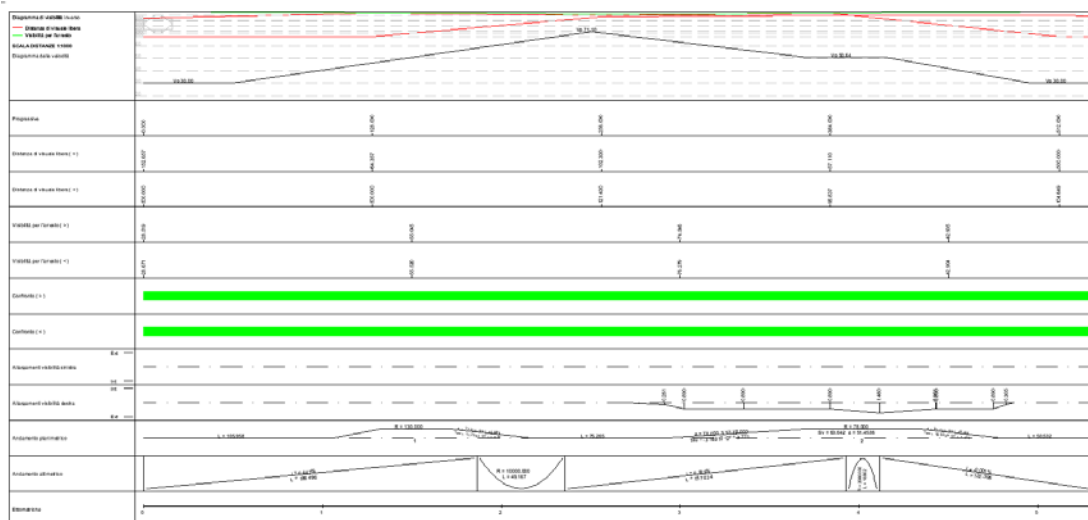
 1 Livelletta - N. 1	Pendenza: -0.010%	Elemento	Riferimento	Velocità
 Pendenza massima		0.010%	7.000%	

 2 Livelletta - N. 2	Pendenza: 1.777%	Elemento	Riferimento	Velocità
 Pendenza massima		1.777%	7.000%	

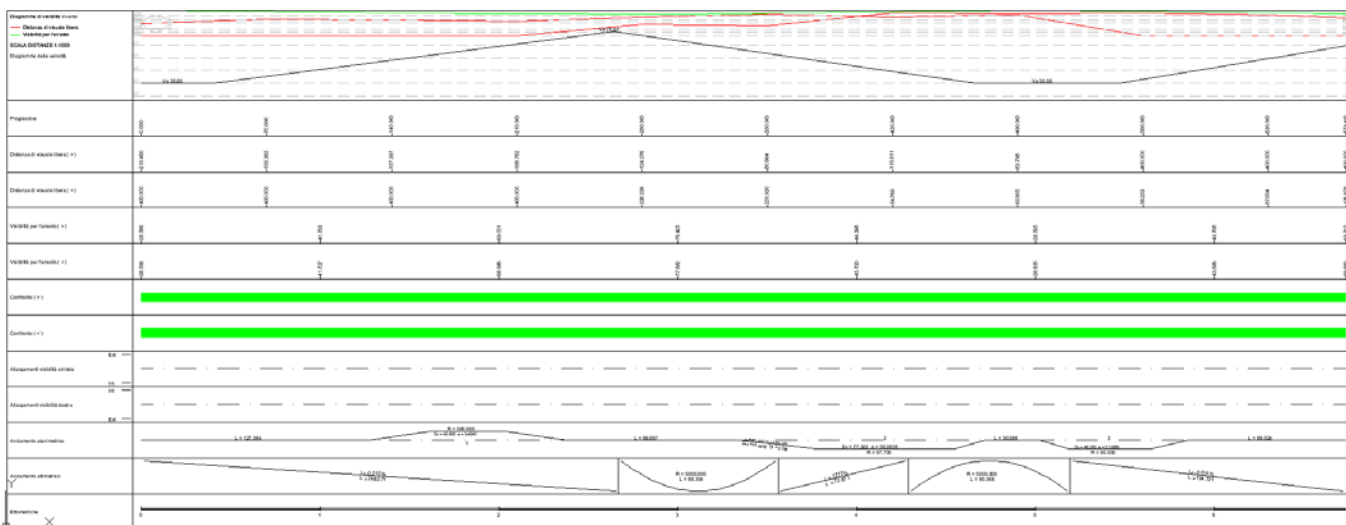
 3 Livelletta - N. 3	Pendenza: -0.031%	Elemento	Riferimento	Velocità
 Pendenza massima		0.031%	7.000%	

3.3. DIAGRAMMA DI VISIBILITÀ

ASSE PRINCIPALE 1



ASSE PRINCIPALE 2

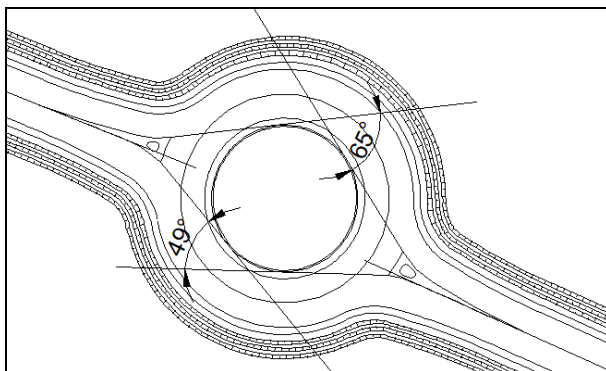


Prendendo visione dei diagrammi sopra riportati si evince come il tracciato principale risulti rispondente alla normativa vigente in termini di verifica di visibilità, garantendo in questo modo una piena sicurezza di marcia. Per garantire quanto appena detto è stato necessario, per l'asse principale 1, applicare gli allargamenti della banchina in prossimità della curva n.2.

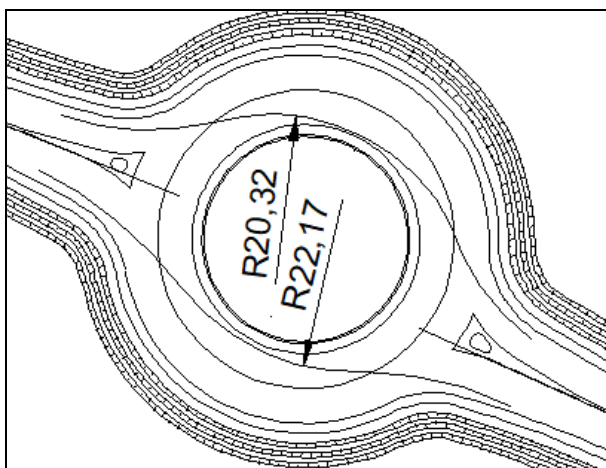
3.4. VERIFICHE DEGLI SVINCOLI A ROTATORIA

Come già descritto nei paragrafi precedenti, in una progettazione di una nuova infrastruttura stradale risultano fondamentali le verifiche degli svincoli, se presenti, in quanto tali aspetti rendono la viabilità più o meno sicura. In questo caso si è proceduto verificando le due rotatorie presenti in termini di deflessione delle traiettorie e angoli di deviazione.

Di seguito si mostrano i risultati rispettivamente di rotatoria1 (Intermedia) e rotatoria2 (Via Pederzona):



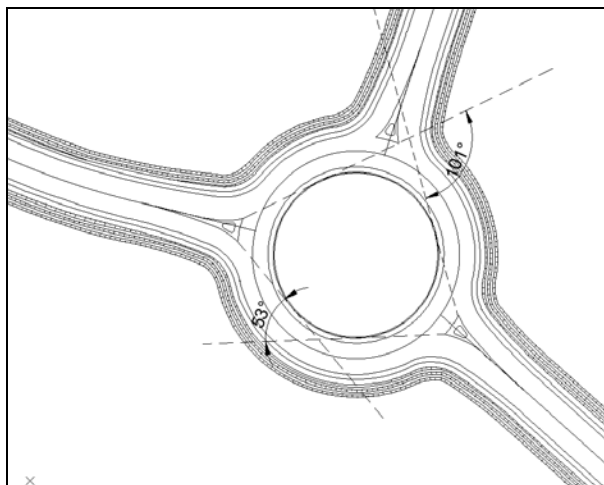
Rotatoria 1 – Verifica angoli di deviazione



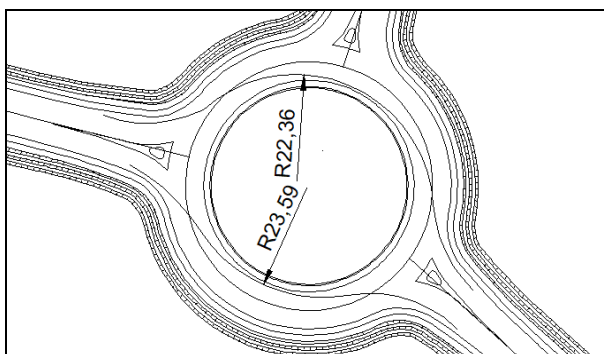
Rotatoria 1 – Verifica deflessione delle traiettorie

Come si evince dagli stralci inseriti, la rotatoria 1 risulta perfettamente rispondente alle richieste della normativa vigente in termini di verifiche degli svincoli a rotatoria in quanto gli

angoli di deviazione sono $> 45^\circ$ mentre i raggi di deflessione risultano abbondantemente < 100 m.



Rotatoria 2 – Verifica angoli di deviazione



Rotatoria 2 – Verifica deflessione delle traiettorie

Analizzando gli stralci planimetrici della rotatoria 2, si può notare come tale svincolo risulti perfettamente rispondente alle richieste della normativa in quanto gli angoli di deviazione sono $> 45^\circ$ mentre i raggi di deflessione risultano abbondantemente < 100 m.

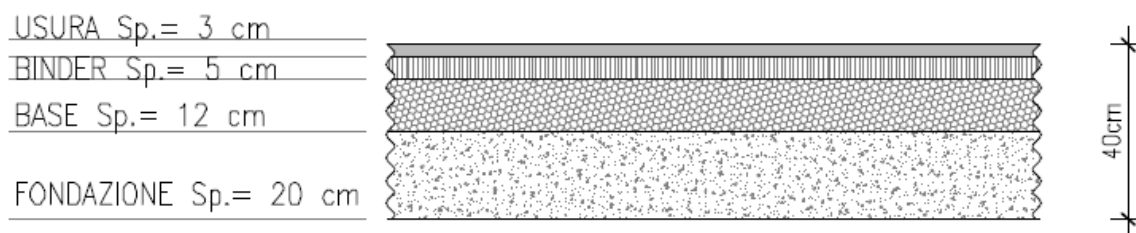
4. PACCHETTO STRADALE DI FONDAZIONE E TRANSITO E RELATIVE VERIFICHE

Nelle more delle prove geologiche da effettuare sul sedime previsto per lo sviluppo stradale, prove non eseguibili in quanto allo stato attuale non si ha la disponibilità dei luoghi, è stato definito un pacchetto stradale costituito come da immagine sottostante.

PACCHETTI DI PAVIMENTAZIONE

scala 1:20

PARTICOLARE "A"



Le verifiche di portanza mediante tecnologia CBR potranno dunque essere eseguite a seguito delle necessarie prove quando si avrà la disponibilità di accedere alle aree in oggetto.

5. CONCLUSIONI

Il nuovo tratto infrastrutturale oggetto di progettazione risulta un elemento fondamentale per il nuovo assetto dell'autodromo in quanto si prevederà un forte aumento dei flussi veicolari, dovuti all'incremento delle attività automobilistiche. L'accesso esistente non è considerato sufficiente a smaltire elevati flussi di traffico e tale considerazione ha reso necessaria la progettazione di un nuovo raccordo stradale in grado di sostenere picchi di carico veicolari.

La soluzione prevede un collegamento stradale con sezione trasversale assimilabile ad una F1 e la realizzazione di due rotatorie, in prossimità dell'intersezione con Via Pederzona e in posizione intermedia per un futuro collegamento alla pista aeroportuale.

Il tracciato risulta rispondente alla normativa vigente in tutte le sue parti, sia in riferimento alla configurazione plano-altimetrica e sia in merito alle verifiche relative agli svincoli a rotatoria.

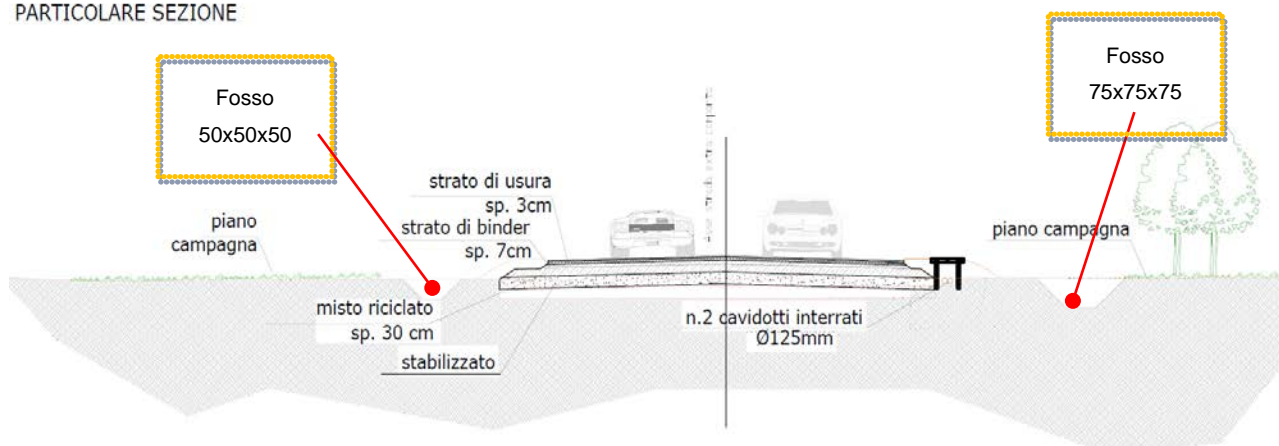
6. IDRAULICA STRADALE

6.1. idrologia

Per il drenaggio della piattaforma viaria in progetto sono stati concepiti due fossi di guardia in destra e sinistra:

- Il fosso in sinistra ha speco trapezio di dimensioni 50x50x50 e vista l'altimetria locale, degradante da sud verso nord, riceve unicamente le acque generate dalla semicarreggiata dall'asse viario in progetto
- Il fosso in destra ha speco trapezio di dimensioni maggiori 75x75x75 in quanto oltre alla semicarreggiata dell'asse viario deve farsi carico delle superfici di corrivazione (agricole) intercluse tra la via dell'aeroporto e la via in progetto

PARTICOLARE SEZIONE



Fossi di drenaggio nuova strada di accesso autodromo di Modena

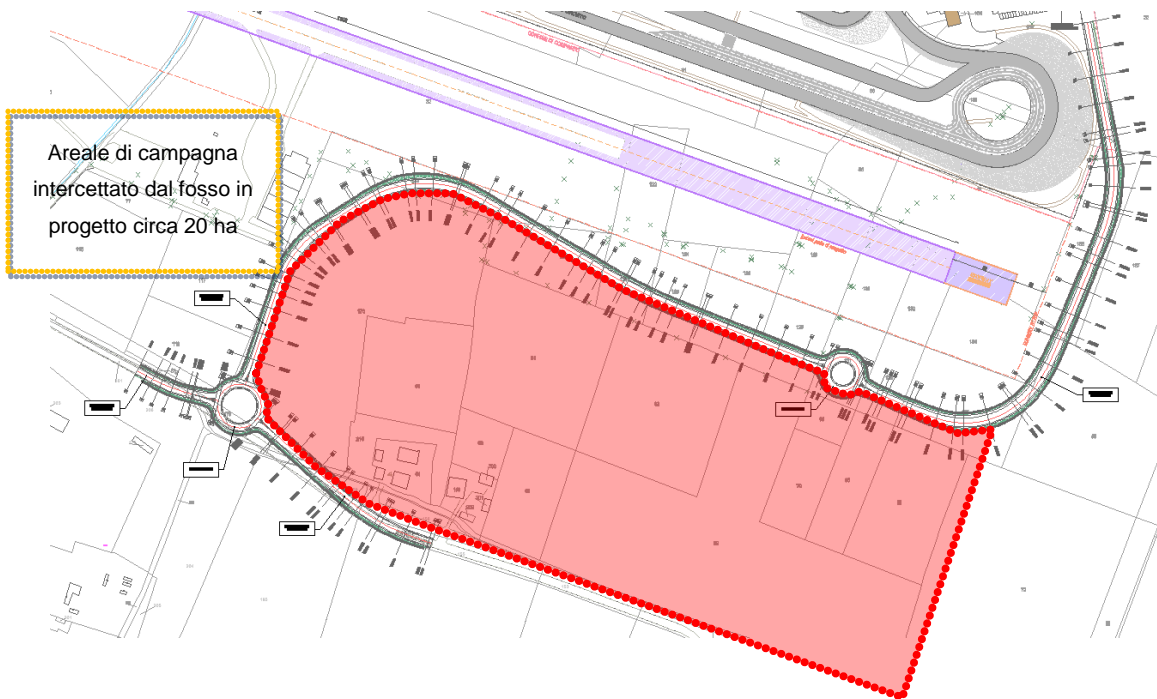
La strada misura pressappoco 1250 la larghezza della carreggiata complessiva di scarpate è $(0.5+1+3.5) \times 2 = 10$

La superficie della semicarreggiata risulta essere $S = 1250 \times 10 / 2 = 6.250 \text{ mq}$

Assegnando una udometria di 200 l/s ha tipica per le aree impermeabilizzate (la DGR 286/2005 e la 1860/2006 stabiliscono una corrispondenza tra questa udometria ed eventi meteorologici con tempi di ritorno ultra cinquantenari) si ottiene che la semicarreggiata

nella sezione terminale (in prossimità del sottopasso dell'asse in progetto previsto mediante culvert DN 630) genera portate dell'ordine di:

$$Q_s = 0.625 \times 200 = 125 \text{ l/s}$$



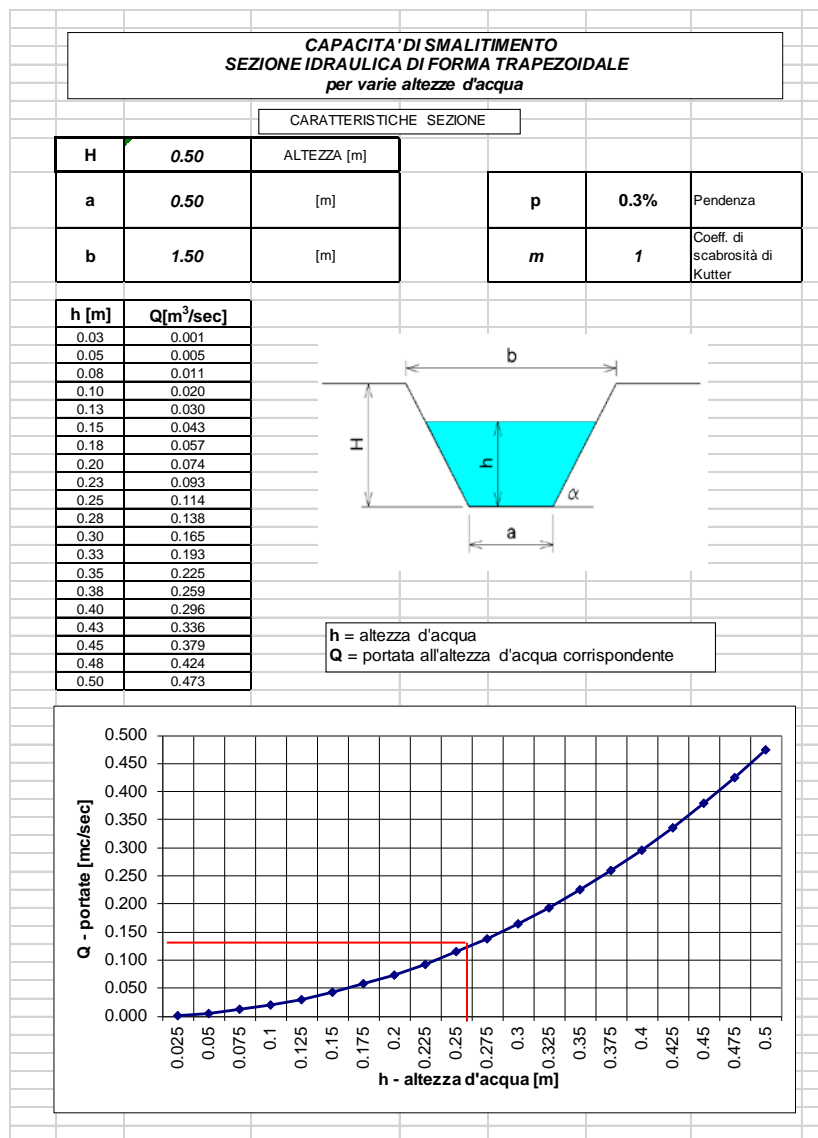
*Bacino imbrifero del fosso posto in destra della
Nuova strada di accesso all'Autodromo di Modena*

Nel caso del fosso posto a destra della via in progetto il fosso dovrà farsi carico oltre del contributo idrologico della semicarreggiata anche della corrivazione dei 18 ha del bacino imbrifero evidenziato; facendo riferimento al valore udometrico di invarianza stabilito per le superfici agricole (20 l/s ha) la portata in carico nelle sezioni terminali del fosso di destra sono dunque:

$$Q_d = 125 + 18 \times 20 = 125 + 360 = 475 \text{ l/s}$$

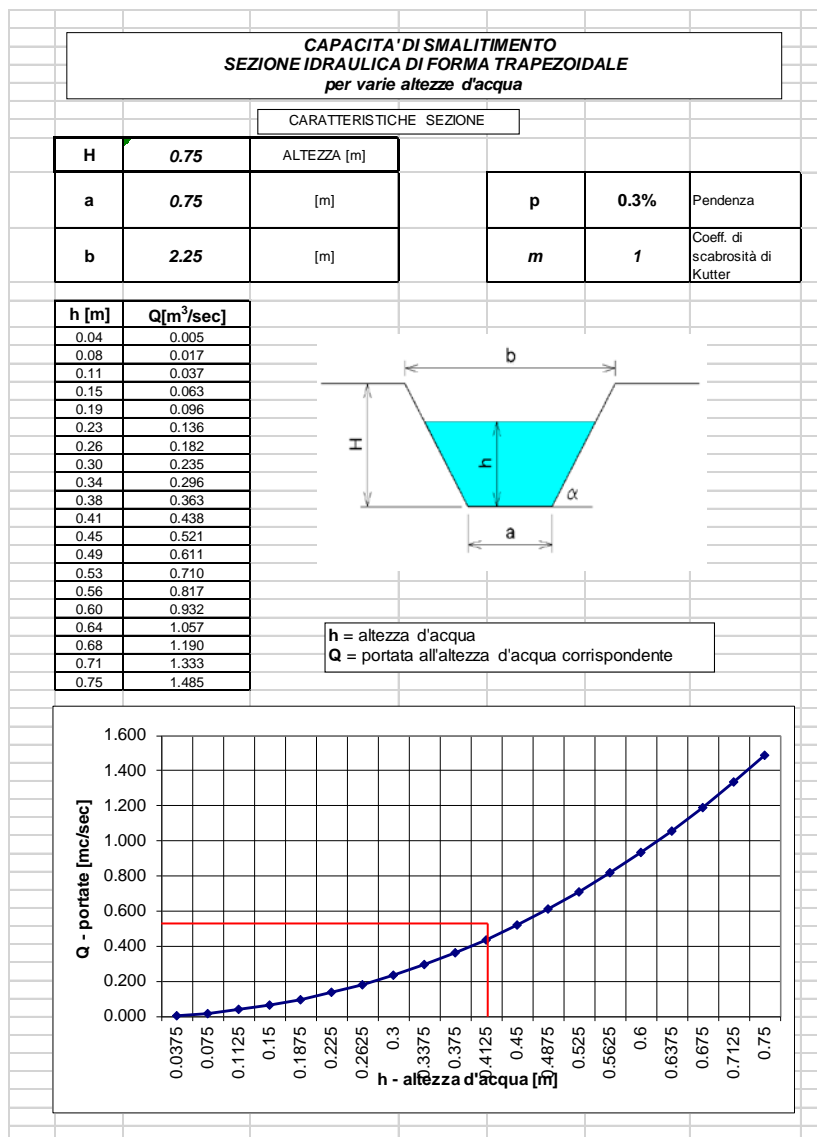
6.2. Verifiche idrauliche

Facendo riferimento alla pendenza media della strada (0.3%) si riportano di seguito le scale di deflusso degli elementi idraulici adibiti al drenaggio della strada:



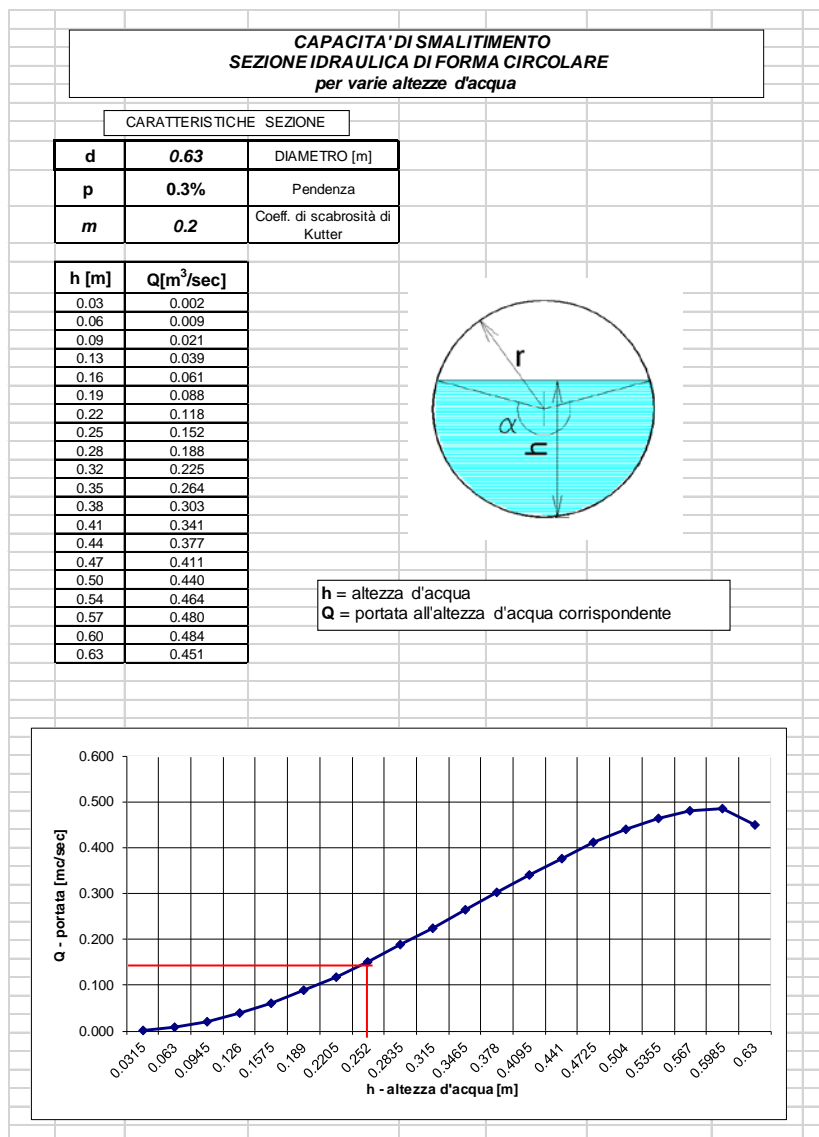
Scala deflusso fosso 50x50x50

Il fosso posto in sinistra (spalle a sud) risulta verificato



Scala deflusso fosso 75x75x75

Il fosso posto in destra strada (spalle a sud) risulta verificato



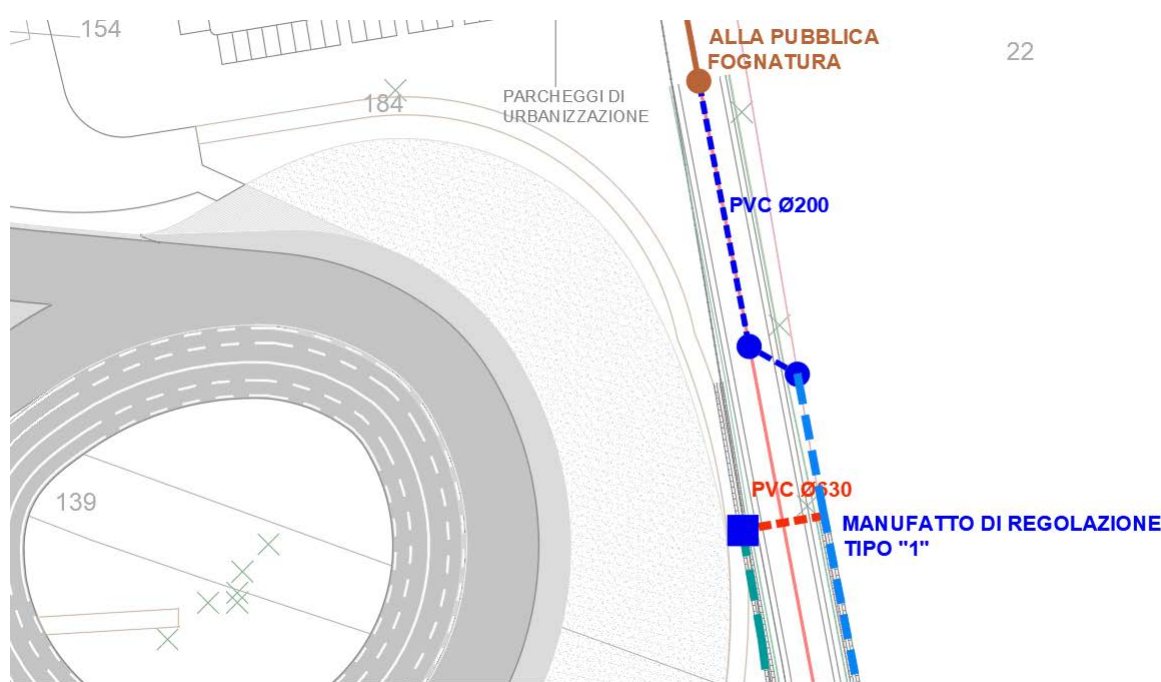
Scala deflusso culvert DN 630

Il culvert risulta verificato

6.3. Elementi di mitigazione quali/quantitativa

Da un punto di vista qualitativo il comma 4 dell'articolo 1 della DGR 1860/2006 sancisce inequivocabilmente che le aree di transito e parcheggio non sono soggette alla disciplina che dirime le questioni legate alle prime piogge e al dilavamento: la strada non prevede quindi gestione qualitativa delle acque di prima pioggia o di dilavamento in quanto sostanzialmente inesistenti.

Da un punto di vista quantitativo il nuovo sistema stradale recapiterà in invarianza idraulica all'interno del sistema fognario già realizzato ed in esercizio in fregio alla strada di collegamento dall'ex casetta Ausl verso via Pomposiana: tale fognatura risulta ad oggi collegata al fosso stradale di Via Pomposiana che recapita le acque di corrivazione stradale verso io Rio Colombarone:



Recapito acque di corrivazione nuova strada extracomparto

Per quanto attiene il calcolo delle portate che nello stato di fatto e nello stato di progetto sono recapitate al sistema ricettivo, vista la risibile estensione delle superfici che verranno trasformate si fa appello ad un modello sintetico concettuale che fa riferimento all'udometria caratteristica dell'areale oggetto di impermeabilizzazione:

Riferendosi dunque ad una udometria territoriale assolutamente consolidata e condivisa di 20 l/s ha per le superfici permeabili (coefficiente udometrico condiviso per il calcolo dell'invarianza idraulica delle superfici agricole in occasione di eventi con tempi di ritorno centenari) è evidente come l'areale oggetto di interesse inteso come

- Circa 12.500mq =1.25 ha strada da impermeabilizzare (ad oggi permeabile)
- Circa 180.000mq=18 ha di areale permeabile ma che grava sul sistema idraulico predisposto per la nuova strada

producano complessivamente una portata di :

$$Q= 1.25+18=19.25 \text{ [ha]} * 20 \text{ [l/s ha]} = 385 \text{ [l/s]}$$

Dunque 385 [l/s] contro i 475 [l/s] che si producono nello stato di progetto a strada extra comparto realizzata (calcolati e verificati nel paragrafo 5.2 precedente)

Osservazione:

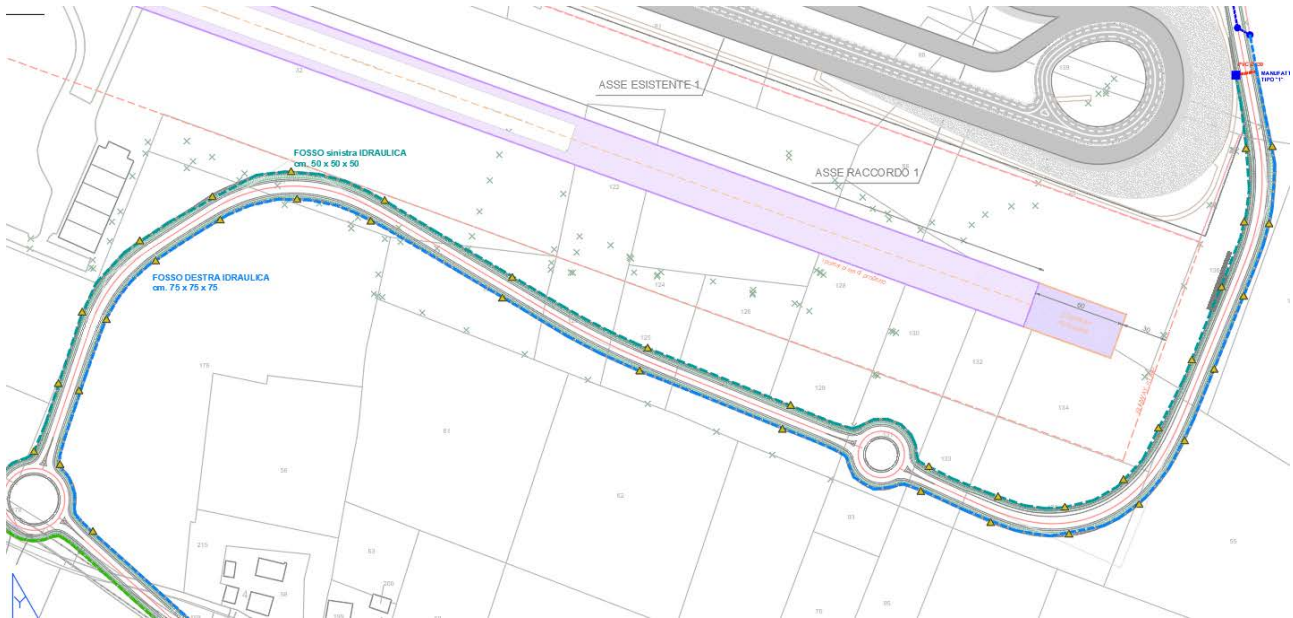
nel caso specifico tuttavia il vincolo specifico alle portate non è rappresentato dal principio di invarianza ma dall'effettiva capacità della fognatura esistente (PVC DN 315 nelle sezioni iniziali) di collettare verso il recapito un quantitativo di acqua pari anche solo al valore di 385 l/s calcolato per l'attuale stato di fatto (permeabile) delle superfici interessate dalle trasformazioni in progetto.

La portata recapitata dai nuovi fossi al servizio della strada in progetto dovrà essere dunque limitata a valori MASSIMI di 8/10 l/s per non mandare in crisi il sistema fognario esistente ed in esercizio nella strada di servizio dell'Autodromo di Modena.

Per limitare a tali valori le portate dovrà essere utilizzato il volume di invaso messo a disposizione dai due fossi in progetto in destra e sinistra della strada extra comparto. Per quanto attiene alla volumetria complessiva:

- Il fosso in sinistra di sezione caratteristica 50x50x50 mette a disposizione un volume complessivo di:
 - $W= 0.5 \text{ mq} * 1250 \text{ m} = 625$

Di tali manufatti ne sono previsti pressappoco 20 in destra e sinistra della strada in progetto con infittimento maggiore di numero nelle tratte sud/nord a maggiore pendenza



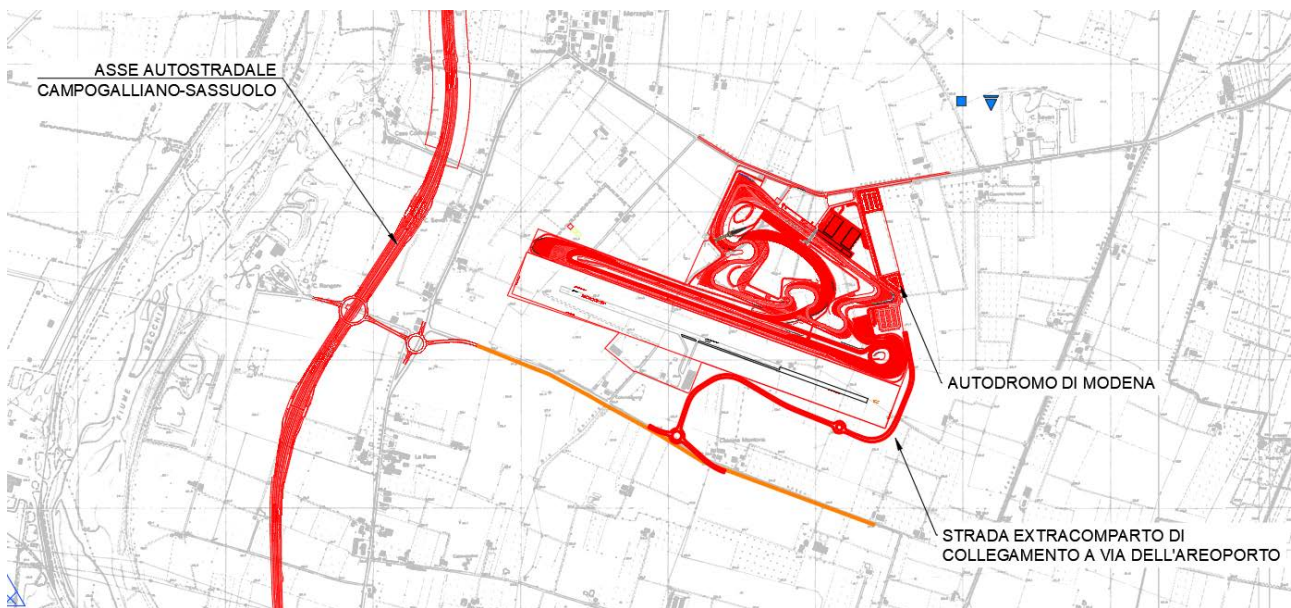
Planimetria manufatti di laminazione nei fossi stradali della strada extra comparto

Una bocca tarata regolabile consentirà il deflusso sotto battente verso valle della portata calcolata di pertinenza della tratta sottesa; l'eventuale eccedenza tracimerà verso l'alto dal troppo pieno interessando il settore di valle:

Tale sistema è stato validato mediante modellazione numerica e predisposto per la laminazione di infrastrutture stradali quali la strada pedemontana e la bretella Campogalliano Sassuolo, la tangenziale di Mirandola e la vicariante stradale di Cisano (solo per citarne alcune recenti).

7. Conclusioni

Nell'ambito del progetto che prevede l'ampliamento dell'Autodromo di Modena si è reso necessario prevedere una nuova viabilità di accesso che consentisse di alleggerire il traffico diretto ed indiretto sulla via Pomposiana e di sponda quello in transito lungo Marzaglia Nuova in arrivo all'Autodromo di Modena.



Nuova viabilità di accesso all'autodromo di Modena

Come è possibile intuire dall'immagine sopra riportata una volta creato l'accesso da via per l'aeroporto si verificano condizioni di accesso preferenziale al sito:

- Sia da Est attraverso la "bretellina" Modena Sassuolo si potrà addurre all'autodromo defluendo lungo la via Pederzona ne poi Via dell'aeroporto
- Sia da Ovest attraverso la nuova "bretella" Campogalliano Sassuolo in corso di realizzazione sarà possibile usufruire della nuova uscita "Marzaglia" prevista in fregio all'omonima via direttamente interconnessa a via dell'Aeroporto

In entrambi i casi la viabilità preferenziale che si andrà a definire non usufruirà della via Pomposiana che sarà "riservata" per l'accesso dei mezzi di soccorso e dei mezzi di servizio.