



Tronco

AUTOSTRADA PEDEMONTANA LOMBARDA

Oggetto

COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE

DALMINE - COMO - VARESE - VALICO DEL GAGGIOLO E OPERE AD ESSO CONNESSE

TRATTA D

STUDIO DI FATTIBILITA'

Descrizione Elaborato

**ALTERNATIVE PROGETTUALI
ALTERNATIVA PROGETTUALE 3 (TRATTA D BREVE) - PROGETTO
RELAZIONE TECNICA**

LA CONCEDENTE



LA CONCESSIONARIA



PROGETTAZIONE



IL PROGETTISTA

Infrastrutture
Ing. Simone Valagussa
Strutture
Ing. Matteo Gardella
Sicurezza/Cronoprogramma
Ing. Mario Piampiani

RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Luca Melis

IL PROJECT MANAGER

Arch. Fabio Massimo Saldini

Ing. Lucia Samorani, Ing. Francesco Uggetti, Ing. Valeria Fabrizio, Ing. Gerardo Amenta, Geom. Michele Riglietti, Geom. Vincenzo Pitasi, Ing. Cecilia Corio, Ing. Matteo Albertini

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
A	15/01/2021	EMISSIONE	C. Corio / M. Albertini	S. Valagussa	L. Melis
B					
C					
D					
E					

Scala

Codifica Elaborato

S	S	D	D	D	0	0	0	G	E	0	3	0	0	0	R	T	0	0	1	A
Fase	Ambito	Tratta/cat.			Opera			Parte			Tipo elaborato			Progressivo			Rev.			

Data

Gennaio 2021

COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE
DALMINE – COMO – VARESE – VALICO DEL GAGGIOLO
E OPERE CONNESSE

STUDIO DI FATTIBILITA'

TRATTE B1, B2, C, D
2° LOTTO DELLA TANGENZIALE DI COMO
2° LOTTO DELLA TANGENZIALE DI VARESE

TRATTA D "BREVE" PROGETTO STRADALE

RELAZIONE TECNICA STRADALE

INDICE

1. PREMESSA	3
2. ASSE PRINCIPALE	3
2.1 Descrizione del tracciato	3
2.2 Aspetti normativi	4
2.3 Sezione stradale tipo	4
2.4 Geometria dell'asse stradale: andamento planimetrico	6
<i>Rettifili</i>	7
<i>Curve circolari</i>	8
<i>Pendenze trasversali nei rettifili e nelle curve circolari</i>	9
<i>Curve a raggio variabile</i>	11
2.5 Distanze di visibilità	16
<i>Distanza di visibilità per l'arresto</i>	16
<i>Distanza di visibilità per il cambio corsia</i>	18
2.6 Geometria dell'asse stradale: andamento altimetrico	19
2.7 Diagramma di velocità	21
<i>Allargamenti per la visibilità</i>	21
3. INTERCONNESSIONI E SVINCOLI.....	22
3.1 Descrizione degli svincoli	22
3.2 Aspetti normativi	22
3.3 Caratteristiche geometriche delle rampe di svincolo	23
3.4 Corsie specializzate.....	27
<i>Corsia di entrata o di immissione</i>	27
<i>Corsia di uscita o di diversione</i>	28
3.5 Dimensionamento degli Elementi geometrici degli svincoli	29
<i>Interconnessione con SP2</i>	29
<i>Interconnessione con svincolo TEEM – A4 esistente</i>	33
3.6 Intersezioni a rotatoria	38
<i>Interconnessione con SP2 - Rotatorie</i>	38
4. INTERFERENZE CON LE VIABILITA' PREESISTENTI	41
5. IPOTESI ALTERNATIVA	43
5.1 Descrizione del tracciato	43
5.2 criteri progettuali e caratteristiche di tracciato.....	44
<i>Rettifili</i>	45
<i>Curve circolari</i>	45
<i>Andamento altimetrico</i>	46
<i>Svincolo con Tangenziale Est</i>	46

1. PREMESSA

La presente relazione descrive il progetto stradale della Tratta D “Breve” dell’Autostrada Pedemontana Lombarda, illustrando i criteri utilizzati per le scelte progettuali, i dimensionamenti dell’asse principale, degli svincoli e relative corsie di accelerazione e decelerazione delle intersezioni. Il progetto stradale risponde adeguatamente ai requisiti normativi con riferimento alla fase progettuale dell’incarico ovvero studio di fattibilità volto all’individuazione di soluzioni progettuali alternative.

2. ASSE PRINCIPALE

2.1 DESCRIZIONE DEL TRACCIATO

L’Autostrada Pedemontana Lombarda è un’opera particolarmente complessa che si inserisce in un ambito territoriale molto urbanizzato, particolarmente ricco di vincoli al contorno (come costruzioni, piani urbanistici di espansione industriale, elementi di pregio ambientale, ecc.) che hanno portato a studiare attentamente l’andamento planimetrico, fin da questa fase della progettazione, al fine di minimizzare l’intrusione territoriale dell’opera.

La Tratta D “Breve” presenta una lunghezza di circa 9 km dall’inizio della tratta fino allo svincolo di Interconnessione con la TEEM e con l’autostrada A4. Il suo inizio è ubicato in corrispondenza della tratta precedente immediatamente dopo lo svincolo di interconnessione con la Tangenziale Est (appartenente alla Tratta C) e prima dell’attraversamento del fiume Molgora. Il superamento del corso d’acqua viene realizzato tramite un viadotto lungo 210 m, a 6 campate, avente un’altezza modesta, pari a circa 5-6 metri rispetto alla configurazione del terreno, necessario per il comportamento meandriforme del fiume che tende a spostare il suo alveo all’interno di un’ampia fascia. Nella prima parte dell’itinerario di progetto, attraversato il fiume Molgora, il tracciato si sviluppa per circa 3250 m in rilevato al fine di limitare i rischi connessi alla presenza di occhi pollini in quanto, dalle analisi condotte e più dettagliatamente specificate nella relazione geologica-geotecnica, l’area risulta presentare un alto grado di suscettibilità a tale fenomeno. Dopo questo primo tratto in rilevato il tracciato prosegue in trincea e si approssima alla galleria artificiale in corrispondenza dell’interconnessione SP2, di nuova realizzazione prevista nel Comune di Bellusco, sopra la quale viene mantenuta la continuità della viabilità locale. La galleria si sviluppa per una lunghezza di circa 450 m. Dopo un tratto di circa 2400 m dove l’asse principale prosegue in trincea sottopassando l’interconnessione SP2 di futura realizzazione e attraversando la barriera di esazione prevista nell’intorno della pk 6+100, la morfologia del territorio consente di proseguire in rilevato per circa 800 m. Dalla pk 7+450 fino a termine dell’intervento l’asse principale

prosegue in trincea fino a raccordarsi alla TEEM e all'A4 in corrispondenza dell'attuale svincolo della TEEM mediante la realizzazione della nuova interconnessione con TEEM-A4 che prevede un complesso sistema di rampe atto a garantire tutte le possibili manovre di svolta e coerentemente con lo stato di fatto dell'intersezione.

Le interferenze con la viabilità locale sono state risolte mediante la realizzazione di cavalcavia in funzione delle condizioni al contorno riscontrate nell'area; si rimanda agli elaborati specifici per maggiori dettagli.

2.2 ASPETTI NORMATIVI

Gli standard progettuali adottati, in termini di composizione plano-altimetrica del tracciato sono stati definiti sulla base delle indicazioni contenute nelle "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" (Decreto Ministeriale del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 05/11/2001, prot. 6792).

Sulla base di quanto definito dal Decreto sopra citato e della categoria stradale della viabilità in progetto è stato definito l'intervallo della velocità di progetto in funzione del quale vengono definite tutte le caratteristiche plano-altimetriche di tracciato come nel seguito meglio definite.

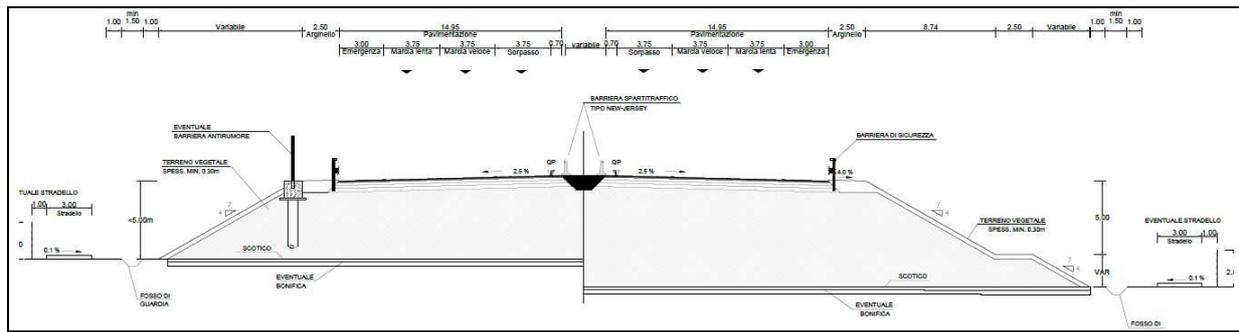
In coerenza con la fase progettuale dell'incarico oggetto della seguente relazione sono stati definiti criteri e scelte progettuali come nel seguito illustrate.

2.3 SEZIONE STRADALE TIPO

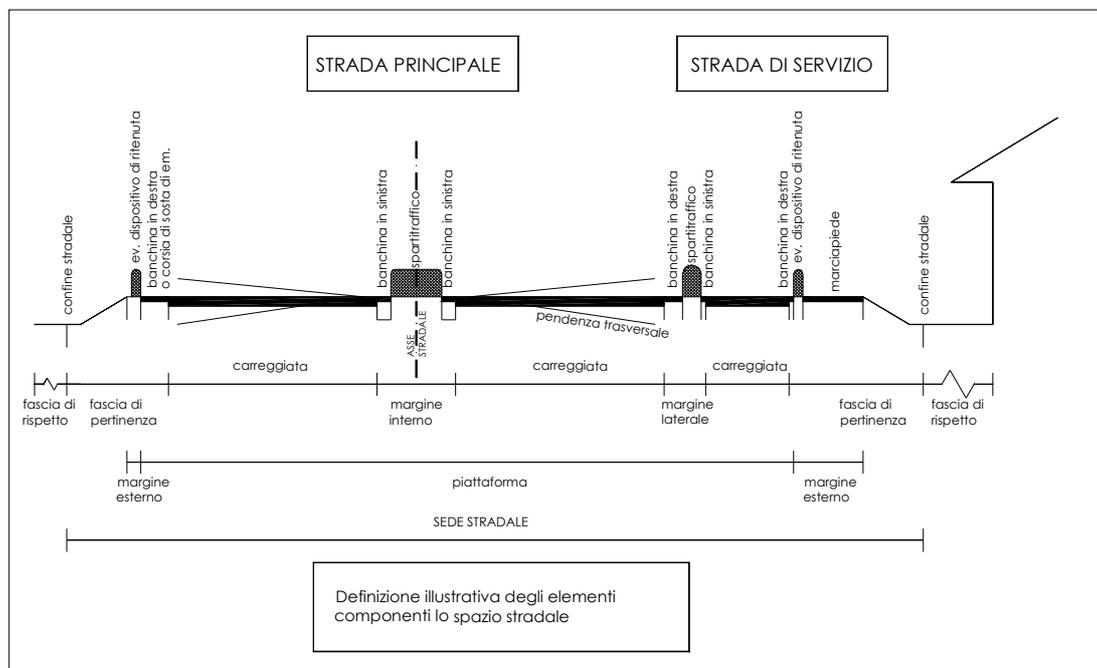
Con riferimento a quanto previsto dalla classificazione funzionale delle strade (ex art. 2 del Codice della Strada), l'Autostrada Pedemontana Lombarda è classificata come appartenente alla *Rete Primaria*, trattandosi di un'*Autostrada Urbana Tipo A* con intervallo delle velocità di progetto pari a 80-140 km/h.

Lo stesso Decreto stabilisce quale sia l'organizzazione della piattaforma stradale e dei suoi margini, intendendo che tale configurazione sia da intendersi come la minima prevista dal Codice della Strada, e da verificare in funzione di esigenze normative legate ad altri settori come per esempio la larghezza minima dello spartitraffico che deve essere adeguata per consentire il corretto funzionamento delle barriere di sicurezza adottate.

Collegamento Autostradale Dalmine – Como – Varese – Valico del Gaggiolo ed Opere ad Esso Connesse
 Studio di fattibilità delle opere della Tratta D
STUDIO DI FATTIBILITA'



Gli elementi compositivi della sezione trasversali sono descritti con riferimento alla seguente figura di cui al Decreto 5 novembre 2001:



La sezione trasversale risulta composta da 2 carreggiate ciascuna composta da n. 3 corsie per senso di marcia di larghezza pari a 3,75 m, separate da un margine interno minimo di larghezza pari a 4,14 m composto da uno spartitraffico minimo di 2,74 m e da n. 2 banchine in sinistra di larghezza minima di 0,70 m.

Le carreggiate prevedono inoltre una corsia di emergenza di larghezza pari a 3,00 m.

I valori dello spartitraffico e delle banchine in sinistra sono da intendersi minimi, in quanto per necessità legate alla verifica delle distanze di visibilità tali valori possono subire degli incrementi come di seguito specificato.

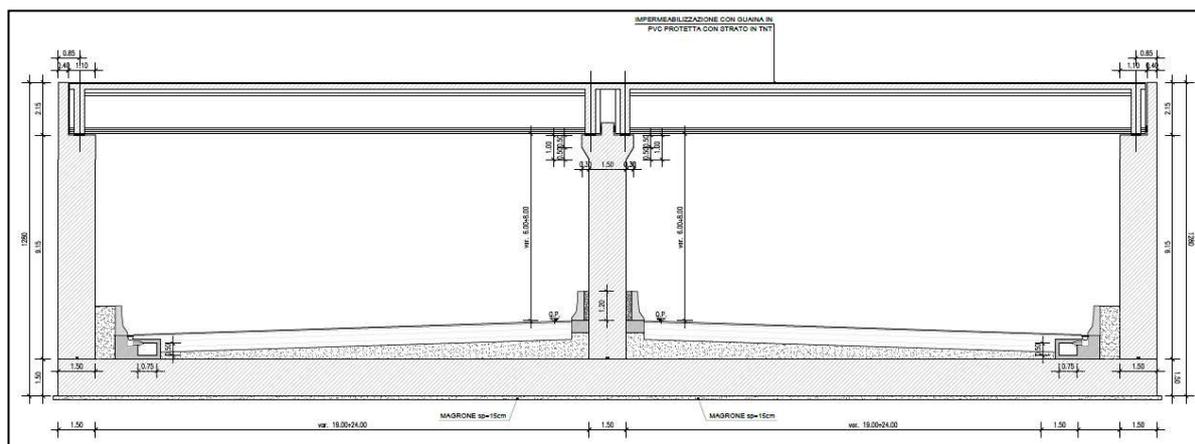
Nella sezione ordinaria pertanto la piattaforma stradale risulta avere una sezione minima pari a 32,64 m.

Per maggiori dettagli si rimanda all'elaborato specifico S SD DD000 GE03 000 ST 003 A.

Gli elementi marginali, come cigli e cunette, sono stati progettati tenendo conto che il progetto dell'Autostrada Pedemontana Lombarda prevede il collettamento e trattamento delle acque di piattaforma dell'asse principale e degli svincoli: ne consegue che gli elementi del margine esterno presentano una larghezza tale da ospitare l'insieme di caditoie, pozzetti e tubazioni dedite a tale funzione, oltre a prevedere un apposito spazio per gli impianti di linea (illuminazione, cablaggio, ecc.).

Le dimensioni del margine esterno sono pari a 2,50 m sia in trincea che in rilevato.

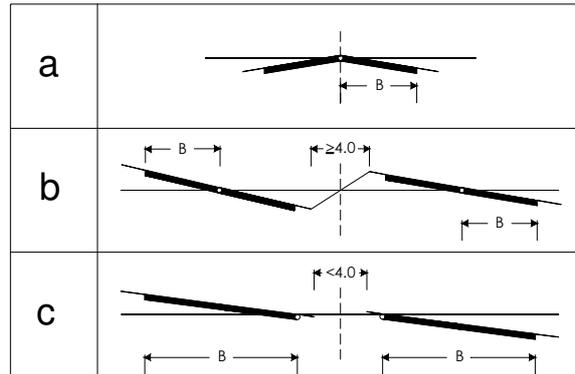
A titolo esemplificativo si riporta di seguito la sezione della galleria artificiale (S SD DD000 GE03 000 ST 001 A



L'idraulica di piattaforma e i tipologici costruttivi sono illustrati negli elaborati specifici.

2.4 GEOMETRIA DELL'ASSE STRADALE: ANDAMENTO PLANIMETRICO

Il tracciato planimetrico è costituito da una successione di elementi geometrici, quali i rettili, le curve circolari ed i raccordi a raggio variabile. Trattandosi di un'autostrada lo studio dell'asse planimetrico prevede due assi separati posizionati sull'interno di ciascuna carreggiata, secondo la tipologia "c" prevista nella seguente figura di cui al Decreto 5/11/2001:



Per ciascun asse è stato eseguito il tracciamento planimetrico con la convenzione che l'andamento crescente delle progressive segue la direttrice nord-sud. Si è previsto per quanto riguarda le sezioni trasversali la loro suddivisione tra la carreggiata in direzione sud, nel seguito denominata semplicemente Carreggiata Sud e la carreggiata in direzione nord nel seguito denominata semplicemente Carreggiata Nord. La loro numerazione segue l'andamento crescente convenzionalmente scelto per il tracciamento e sono state individuate, considerando la fase progettuale in cui siamo, ai fini della definizione del profilo altimetrico. Dato che la Tratta D "breve", oggetto della seguente relazione tecnica, continua planimetricamente la Tratta C della Pedemontana Lombarda che costituisce per la progettazione in essere un dato acquisito, il tracciamento degli assi autostradali partirà, ai fini del tracciamento e relative verifiche, prima della pk 0+000 della Tratta D (per la precisione pk -0+167), in quanto il primo elemento base del tracciamento svolto costituisce un'integrazione dell'ultimo elemento base del tracciamento degli assi della Tratta C.

Rettifili

Per questi elementi compositivi dell'asse planimetrico, il Decreto 5/11/2001 fissa dei valori limite, superiore e inferiore, in funzione della velocità massima di progetto.

Per il valore massimo tale adozione è dovuta alle esigenze di evitare il superamento delle velocità da Codice della Strada, la monotonia, la difficile valutazione delle distanze e per ridurre l'abbagliamento nella guida notturna; tale valore si calcola con la formula:

$$L_r = 22 \times V_{p \text{ Max}} \text{ [m]}$$

che per un'Autostrada classificata come A con $V_{p, \text{max}} = 140 \text{ km/h}$ risulta pari a 3.080 m.

Tutti i rettifili presenti lungo il tracciato non raggiungono mai questo valore limite superiore.

Il valore minimo è invece fissato per poter essere correttamente percepito dall'utente, secondo i valori riportati nella tabella seguente (per Velocità si intende la velocità desunta dal diagramma di velocità):

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

Considerata la geometria del tracciato in progetto la velocità desumibile dal diagramma di velocità risulta mantenersi costantemente livellata sul valore di 140 km/h pertanto la lunghezza minima dei rettifili lungo il tracciato in esame non può essere inferiore ai 360 m.

Tutti i rettifili lungo il tracciato presentano valori superiori ai valori limite di cui sopra: si riportano nel seguito le tabelle de rettifili che devono sottostare a tali regole.

Carreggiata Nord						
Rettifilo n.	Progressiva Iniziale	Progressiva Finale	Sviluppo	V _P [km/h]	L _{min}	L _{max}
1	-167,11	418,39	585,50	140,00	360	3080,00
2	962,27	1331,30	369,03	140,00	360	3080,00
3	4939,30	6025,44	1086,14	140,00	360	3080,00

Carreggiata Sud						
Rettifilo n.	Progressiva Iniziale	Progressiva Finale	Sviluppo	V _P [km/h]	L _{min}	L _{max}
1	-167,11	402,09	569,20	140,00	360	3080,00
2	969,11	1388,12	369,01	140,00	360	3080,00
3	4948,33	6006,56	1058,23	140,00	360	3080,00

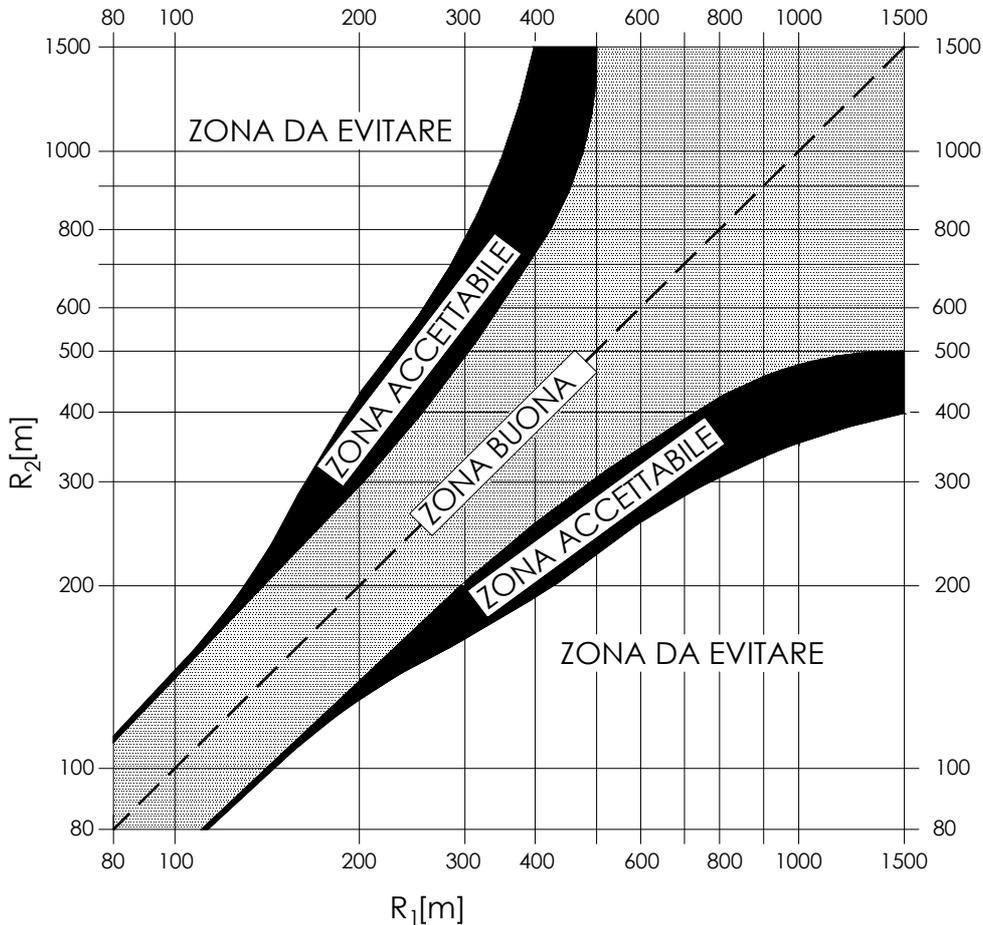
Curve circolari

Anche per le curve circolari la normativa impone dei valori minimi per permettere all'utente la percezione dell'elemento curvilineo; infatti il decreto recita che: *"..una curva circolare, per essere correttamente percepita, deve avere uno sviluppo corrispondente ad un tempo di percorrenza di almeno 2,5 secondi valutato con riferimento alla velocità di progetto della curva.."*

Alla velocità di 140 km/h il valore minimo è pertanto pari a 97,22 m.

Nessuna curva lungo il tracciato presenta valori di lunghezza inferiori ai minimi sopra esposti.

Inoltre tra due curve successive i rapporti tra i raggi di curvatura R_1 ed R_2 devono collocarsi nella zona “buona” di cui all’abaco successivo:



Tutte le curve del tracciato risultano tra loro coerenti con tale impostazione.

Pendenze trasversali nei rettifili e nelle curve circolari

La pendenza minima trasversale in rettilineo è pari al valore 2,5% e le carreggiate sono ciascuna orientata con il ciglio più depresso verso l'esterno.

In curva circolare invece la carreggiata è inclinata verso l'interno e il valore di pendenza trasversale è mantenuto costante su tutta la lunghezza dell'arco di cerchio. Il valore massimo per una strada tipo A è pari al 7%.

La relazione matematica che regola il valore di pendenza trasversale alla velocità di progetto e al raggio di curvatura della curva è espressa dalla seguente formula:

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

dove:

V_p = velocità di progetto della curva [km/h];

R = raggio della curva [m];

q = pendenza trasversale/100;

f_t = quota parte del coeff. di aderenza impegnato trasversalmente.

Per la quota limite del coefficiente di aderenza impegnabile trasversalmente $f_{t \max}$ valgono i valori della normativa di seguito riportati. Tali valori tengono conto, per ragioni di sicurezza, che una quota parte dell'aderenza possa essere impegnata anche longitudinalmente in curva.

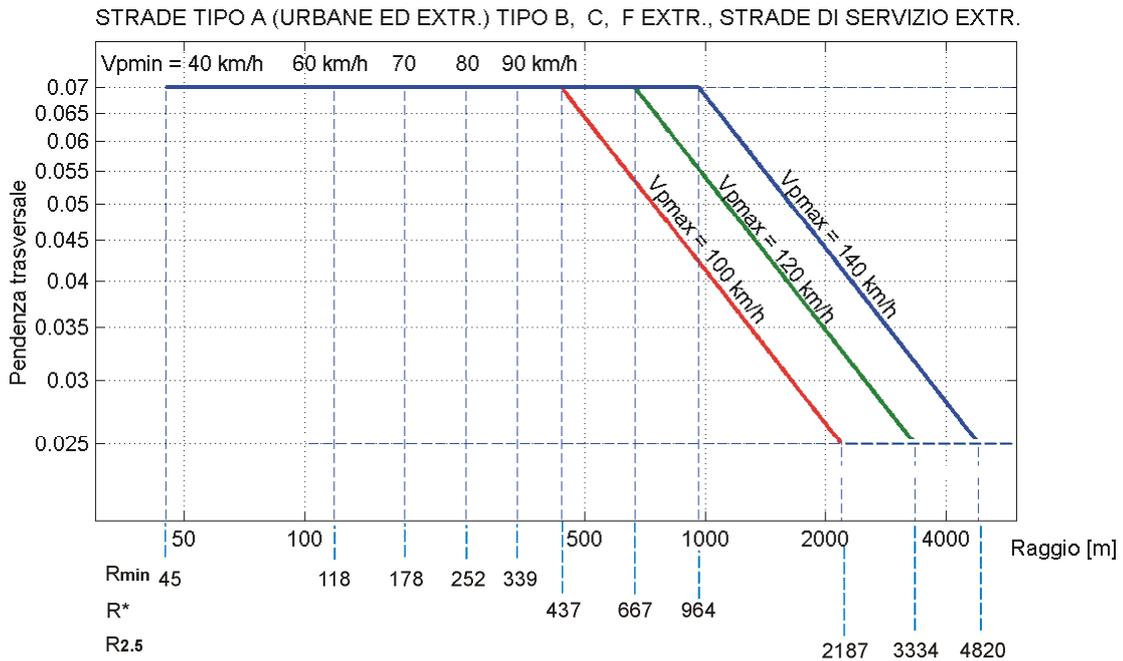
Velocità km/h	25	40	60	80	100	120	140
aderenza trasv. max imp. $f_{t \max}$ per strade tipo A, B, C, F extraurbane, e relative strade di servizio	-	0,21	0,17	0,13	0,11	0,10	0,09
aderenza trasv. max imp. $f_t \max$ per strade tipo D, E, F urbane, e relative strade di servizio	0,22	0,21	0,20	0,16	-	-	-

Per velocità intermedie fra quelle indicate si provvede all'interpolazione lineare.

Assegnata la velocità di progetto esiste un valore di raggio minimo che corrisponde al valore calcolato con la formula precedente fissando la velocità al valore inferiore dell'intervallo e imponendo la pendenza trasversale massima (rispettivamente i valori 80 km/h e 0,07): per l'Autostrada Pedemontana Lombarda tale valore risulta 252 m.

Se il raggio di curvatura è maggiore del valore $R_{2,5}$ che per le autostrade risulta pari a 4.820 m si assume la pendenza trasversale pari al valore 2,5% come se si fosse in curva. Oltre un certo raggio di curvatura si può mantenere la pendenza trasversale in rettilineo essendo comunque garantito l'equilibrio dinamico del veicolo: tale valore per l'Autostrada Pedemontana Lombarda risulta essere pari a $R'=10.250$ m.

Per valori intermedi del raggio R inferiori a $R_{2,5}$ si fa riferimento alla figura seguente:



Curve a raggio variabile

Le curve a raggio variabile sono inserite tra due elementi a curvatura costante (tra curve circolari, ovvero tra rettilineo e curva circolare) lungo le quali generalmente si ottiene la graduale modifica della piattaforma stradale, cioè della pendenza trasversale, e, se necessario, della larghezza trasversale della piattaforma.

Le curve impiegate a tali scopi sono denominate clotoidi e si rappresentano nella forma:

$$r \times s = A^2$$

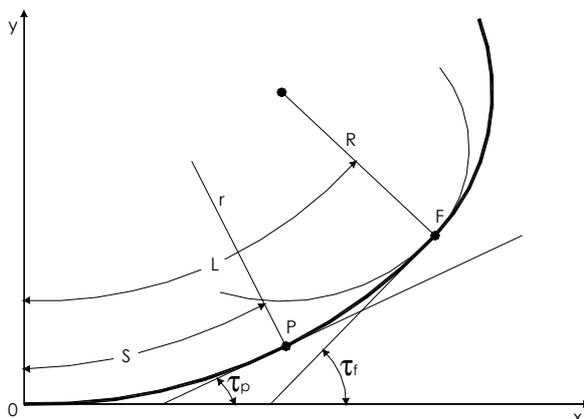
dove:

r = raggio di curvatura nel punto P generico

s = ascissa curvilinea nel punto P generico

A = parametro di scala

Graficamente i simboli necessari alla loro definizione sono i seguenti:



Le motivazioni legate all'inserimento lungo il tracciato di tali elementi a curvatura costante sono quelle di garantire:

- Una variazione di accelerazione centrifuga non compensata (contraccollo) contenuta entro valori accettabili;
- una limitazione della pendenza (o sovrapendenza) longitudinale delle linee di estremità della piattaforma;
- la percezione ottica corretta dell'andamento del tracciato.

Da quanto sopra si evince che per valori del raggio di curvatura pari a 10.250 m non sussistono più le condizioni necessarie all'inserimento delle curve a raggio variabile, in quanto nessuna variazione della pendenza trasversale risulta necessaria, mantenendo la sagoma stradale le stesse geometrie di quelle proprie del rettilo e l'accelerazione centrifuga non compensata assume valori estremamente bassi.

I criteri di dimensionamento del parametro A delle curve di transizione a curvatura variabile sono:

1. criterio della limitazione del contraccollo, che con le opportune semplificazioni e assunzioni assume la forma pratica pari a:

$$A \geq 0,021 \times V^2;$$

2. criterio della limitazione della sovrappendenza longitudinale delle linee di estremità della carreggiata che assume le formule:

nel caso in cui il raggio iniziale sia di valore infinito (rettilineo o punto di flesso), il parametro deve verificare la seguente disuguaglianza:

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

nel caso in cui anche il raggio iniziale sia di valore finito (continuità) il parametro deve verificare la seguente disuguaglianza:

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

3. criterio ottico:

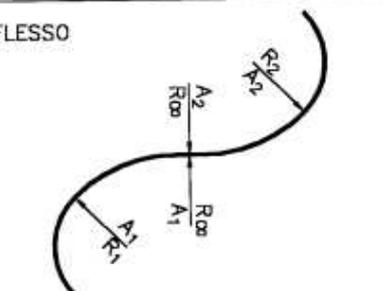
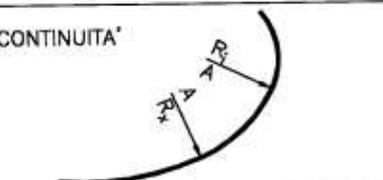
$$A \geq R/3 \quad (R_i / 3 \text{ in caso di continuità})$$

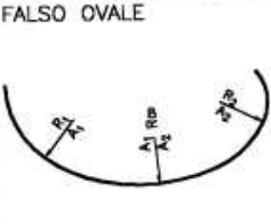
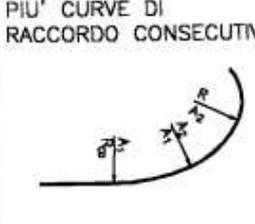
Inoltre, per garantire la percezione dell'arco di cerchio alla fine della clotoide, deve essere:

$$A \leq R$$

L'inserimento delle curve a raggio variabile deve soddisfare oltre ai criteri di dimensionamento della singola curva sopra esposti, anche le regole dettate dalla successione di più elementi vicini a formare casi particolari come la transizione (curva circolare con clotoidi con parametri diversi ai due lati), il flesso (curve circolari di verso opposto senza interposizione di un rettilo), la continuità (successione di curve circolari di verso uguale senza rettili intermedi) e il raccordo tra due cerchi secanti mediante cerchio ausiliario.

Tali casi sono rappresentati nella figura sotto riportata:

TIPOLOGIA	LIMITI
<p>TRANSIZIONE</p> 	$A_1 \geq A_{min}$ $A_2 \geq A_{min}$ $\frac{R}{3} \leq A_1 \leq R$ $\frac{R}{3} \leq A_2 \leq R$ $\frac{2}{3} \leq \frac{A_1}{A_2} \leq \frac{3}{2}$
<p>FLESSO</p> 	$R_2 \leq R_1 \quad A_1 \geq A_{min} \quad A_2 \geq A_{min}$ FLESSO ASIMMETRICO $A_1 \neq A_2$ $\frac{R_1}{3} \leq A_1 \leq R_1 \quad \frac{R_2}{3} \leq A_2 \leq R_2 \quad \frac{2}{3} \leq \frac{A_1}{A_2} \leq \frac{3}{2}$ FLESSO SIMMETRICO $A_1 = A_2 = A$ $\frac{R_1}{3} \leq A \leq R_2$
<p>CONTINUITA'</p> 	$R_x \leq R_1 \quad R_x \text{ all'interno di } R_1 \text{ ma non concentrico}$ $A_{min} \leq A$ $\frac{R_1}{3} \leq A \leq R_x$
<p>RACCORDO TRA DUE CERCHI SECANTI CON ALTRO CERCHIO AUSILIARIO</p> 	$A_1 \geq A_{min} \quad A_2 \geq A_{min}$ $\frac{R_3}{3} \leq A_1 \leq R_1$ $\frac{R_3}{3} \leq A_2 \leq R_2$ $\frac{2}{3} \leq \frac{A_1}{A_2} \leq \frac{3}{2}$

CASI DA EVITARE		
<p>TRANSIZIONE SENZA IL CERCHIO</p> 	<p>FALSO OVALE</p> 	<p>PIU' CURVE DI RACCORDO CONSECUTIVE</p> 

Nelle tabelle seguenti si riportano le curve circolari e le relative clotoidi per la Carreggiata Nord e per la Carreggiata Sud.

Carreggiata Nord									
Curva n.	Progressiva Iniziale	Progressiva Finale	Raggio	Sviluppo	V _P	Lmin	Clotoidi		
					[km/h]		Aprec	Asucc	A1/A2
1	653,12	762,27	1800,00	109,15	140	97,22	650	600	1,083
2	1588,44	3710,91	1400,00	2122,47	140	97,22	600	650	0,923
3	4350,70	4601,30	1250,00	599,90	140	97,22	650	650	1
4	6375,19	7062,21	1208,00	687,02	140	97,22	650	680	0,955
5	7776,25	8167,15	1385,86	840,90	140	97,22	680	650	1,031
6	8670,80	8900,42	1696,56	229,62	140	97,22	650	-*	-*

*il tracciamento termina in corrispondenza dell'intersezione con l'A4 della TEEM; la curva n°6 in tabella continua e prosegue il tracciamento della TEEM.

Carreggiata Sud									
Curva n.	Progressiva Iniziale	Progressiva Finale	Raggio	Sviluppo	V _P	Lmin	Clotoidi		
					[km/h]		Aprec	Asucc	A1/A2
1	624,46	746,74	1900,00	122,28	140	97,22	650	650	1
2	1554,19	3720,28	1400,00	2166,09	140	97,22	550	600	0,916
3	4217,42	4666,66	1500,00	449,24	140	97,22	600	650	0,923
4	6358,65	7038,87	1200,00	502,17	140	97,22	650	680	0,955
5	7754,49	8656,73	1400,00	902,24	140	97,22	680	650	1,031
6	8717,09	8883,77	1750,00	166,68	140	97,22	650	-*	-*

*il tracciamento termina in corrispondenza dell'intersezione con l'A4 della TEEM; la curva n°6 in tabella continua e prosegue il tracciamento della TEEM.

2.5 DISTANZE DI VISIBILITÀ

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

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

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

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

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

Nel caso di un'Autostrada la distanza di visibilità per il sorpasso non va presa in considerazione in quanto si applica quando sulla stessa carreggiata ci sono veicoli marcianti in senso opposto.

Distanza di visibilità per l'arresto

La relazione di calcolo della distanza di visibilità per l'arresto si calcola con la formula integrale:

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

dove:

D_1 = spazio percorso nel tempo τ

D_2 = spazio di frenatura

V_0 = velocità del veicolo all'inizio della frenatura, pari alla velocità di progetto desunta puntualmente dal diagramma delle velocità [km/h]

V_1 = velocità finale del veicolo, in cui $V_1 = 0$ 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]
- R_a = resistenza aerodinamica [N]
- m = massa del veicolo [kg]
- f_i = quota limite del coefficiente di aderenza impegnabile longitudinalmente per la frenatura
- r₀ = resistenza unitaria al rotolamento, trascurabile [N/kg]

La resistenza aerodinamica R_a si valuta con la seguente espressione:

$$R_a = \frac{1}{2 \times 3,6^2} \rho C_x S V^2 \quad [N]$$

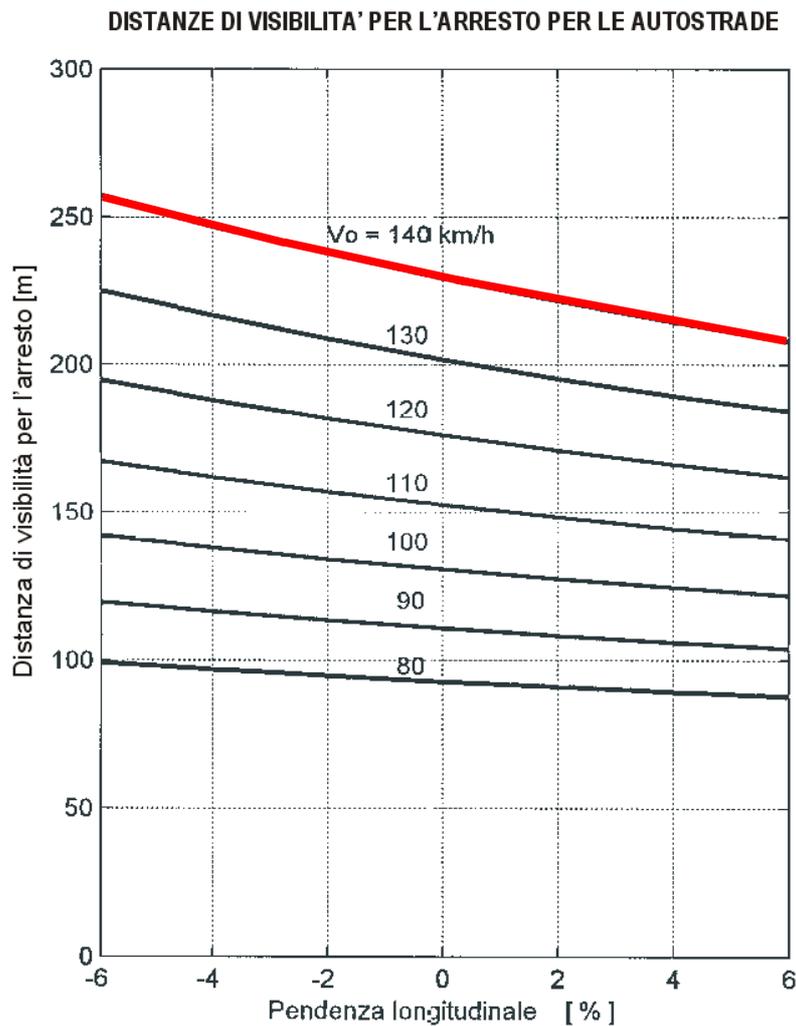
dove:

- C_x = coefficiente aerodinamico
- S = superficie resistente [m²]
- ρ = massa volumica dell'aria in condizioni standard [kg/m³]

Per f_i con riferimento alla categoria Autostrade la normativa da i seguenti valori (compatibili anche con superficie stradale leggermente bagnata con spessore del velo idrico di 0,5 mm):

VELOCITA' [km/h]	25	40	60	80	100	120	140
f _i Autostrade	-	-	-	0.44	0.40	0.36	0.34

Inserendo i corretti valori dei diversi parametri, l'integrale si riduce ad una sommatoria i quanto la funzione integrando assume la forma "a gradini" e si determinano i valori così diagrammabili:



Distanza di visibilità per il cambio corsia

La distanza valuta lo spazio necessario all'utente a comprendere i tempi necessari per percepire e riconoscere la situazione e per la decisione ed effettuazione della manovra di cambiamento di una sola corsia (4 secondi). La formula empirica risulta:

$$D_c = 9,5 \times v = 2,6 V \quad [m]$$

dove:

v = velocità del veicolo in [m/s];

V in [km/h]

essendo v , V desunte puntualmente dal diagramma delle velocità.

Ai fini della seguente progettazione, considerando la fase progettuale dell'intervento, si è ritenuta sufficiente e cautelativa la verifica della distanza di visibilità per l'arresto con la definizione degli allargamenti della piattaforma necessari. Si rimanda in ogni caso alle successive fasi della progettazione l'implementazione delle verifiche comprensive di quelle relative alla visibilità per il cambiamento corsia,

2.6 GEOMETRIA DELL'ASSE STRADALE: ANDAMENTO ALTIMETRICO

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

Per una strada classificata come A autostrada urbana la pendenza massima adottabile risulta pari al valore 6% in ambito extraurbano.

Il valore massimo della livelletta del tratto D breve dell'Autostrada Pedemontana Lombarda è pari a 3,00%, pertanto nel pieno rispetto dei dettami normativi.

Inoltre nel caso di autostrada in corrispondenza di gallerie al fine di contenere le emissioni di sostanze inquinanti e di fumi occorre non superare in galleria la pendenza del 4%, e ancor meno nel caso di lunghe gallerie in relazione ai volumi ed alla composizione del traffico previsto. Il tratto in galleria presenta una pendenza inferiore al valore limite della normativa come si evince dagli elaborati.

Per i raccordi verticali si distinguono raccordi concavi e convessi, che vanno dimensionati con riferimento alle distanze di visibilità già discusse. I raccordi sono eseguiti con archi di parabola quadratica ad asse verticale, il cui sviluppo viene calcolato con l'espressione:

$$L = R_v \times \frac{\Delta i}{100} \quad [m]$$

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

Fissata la distanza di visuale libera che si vuole verificare lungo lo sviluppo del tracciato, le formule per il caso convesso sono:

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

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

- se invece $D > L$

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

Si pone da 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.

Per il caso concavo ponendo $h = 0,5$ m e $\theta = 1^\circ$ sono:

- se D è inferiore allo sviluppo del raccordo si ha

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

- se invece $D > L$

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

Con questi metodi di calcolo si ottengono i valori minimi, ma spesso nella pratica progettuale si ottengono valori più elevati dettati dalla ricerca di un andamento altimetrico che rispetti i limiti e vincoli al contorno (per i convessi dell'ordine di 15.000-20.000 m, per i concavi con le piccole variazioni di pendenza i valori minimi non hanno limite inferiore). Nel nostro caso specifico i valori dei raggi verticali risultano essere sempre superiori a quelli minimi calcolati secondo la normativa e presentano i seguenti valori:

- raggio convesso minimo 5.000 m
 - raggio convesso massimo 20.000 m
 - raggio concavo minimo 5.000 m
 - raggio concavo massimo 5.400 m.
-

2.7 DIAGRAMMA DI VELOCITÀ

Poiché lungo tutto lo sviluppo del tracciato le curve circolari presentano valori del raggio superiori al minimo pari a 964 m che corrisponde alla velocità di progetto 140 km/h, il diagramma di velocità risulta piatto su tale valore.

Allargamenti per la visibilità

Con gli andamenti planimetrici ed altimetrici prima descritti, sulla base delle sezioni tipo e degli elementi marginali previsti lungo lo sviluppo del tracciato, sono stati costruiti graficamente e verificati gli allargamenti necessari per garantire all'utente in transito le necessarie distanze di visibilità.

Per quanto riguarda la visibilità per l'arresto questa è stata garantita sull'intero sviluppo del tracciato, intervenendo con allargamenti oltre la banchina in sinistra (larghezza 0,70 m) e la corsia d'emergenza (larghezza 3,00 m) ove questi risultino necessario.

Le verifiche sono state condotte per entrambi gli assi percorsi nel senso di marcia e si sono ottenuti i seguenti risultati in termini di allargamento minimo per la visibilità:

Carreggiata Nord						
Curva n.	Raggio	Sviluppo	Allargamento per l'arresto			
			Destrorsa	Allargamento	Sinistrorsa	Allargamento
1	1696,55	229,62	X	-	-	-
2	1395,86	840,90	X	-	-	-
3	1208,00	687,01	-	-	X	0,76
4	1250,00	250,61	X	-	-	-
5	1400,00	2122,47	-	-	X	2,32
6	1800,00	109,15	-	-	X	1,18

Carreggiata Sud						
Curva n.	Raggio	Sviluppo	Allargamento per l'arresto			
			Destrorsa	Allargamento	Sinistrorsa	Allargamento
1	1900,00	122,28	X	-	-	-
2	1400,00	2166,09	X	0,20	-	-
3	1500,00	449,24	-	-	X	2,26
4	1200,00	680,23	X	0,98	-	-
5	1400,00	902,24	-	-	X	2,59
6	1750,00	166,68	-	-	X	-

3. INTERCONNESSIONI E SVINCOLI

3.1 DESCRIZIONE DEGLI SVINCOLI

La Tratta D “breve” dell’Autostrada Pedemontana Lombarda, oggetto della seguente relazione, prevede lungo il suo sviluppo longitudinale i seguenti svincoli ed interconnessioni:

- Interconnessione SP2;
- Interconnessione TEEM - A4.

Per ciascuno si riporta una breve descrizione, le caratteristiche geometriche delle rampe di svincolo e il dimensionamento delle piste di accelerazione e decelerazione.

3.2 ASPETTI NORMATIVI

Per la progettazione delle interconnessioni si è fatto riferimento al Decreto Ministeriale 19 aprile 2006 “*Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali*”, il quale definisce i criteri di dimensionamento degli svincoli in funzione della tipologia di intersezione, della categoria stradale degli assi intersecanti e di altri parametri geometrici tipici della geometria stradale (raggi di curvatura, velocità di progetto, ecc.).

Nell’affrontare la progettazione di uno svincolo si pongono innanzitutto le questioni legate al dimensionamento dei tratti di accelerazione e decelerazione, sia per quanto concerne il loro sviluppo longitudinale sia per le dimensioni trasversali delle sezioni stradali, oltre alla definizione degli elementi geometrici delle rampe di svincolo.

La norma definisce come i principali elementi componenti un’intersezione:

- Le rampe, che rappresentano i tronchi stradali di collegamento tra rami di un’intersezione a livelli sfalsati (svincolo).
- Le corsie specializzate, destinate ai veicoli che si accingono ad effettuare le manovre di svolta a destra ed a sinistra, e che consentono di non arrecare eccessivo disturbo alla corrente di traffico principale. Possono essere di entrata (o di immissione), di uscita (o di diversione) e di accumulo per la svolta a sinistra, e possono essere realizzate nelle intersezioni lineari a raso e a livelli sfalsati.

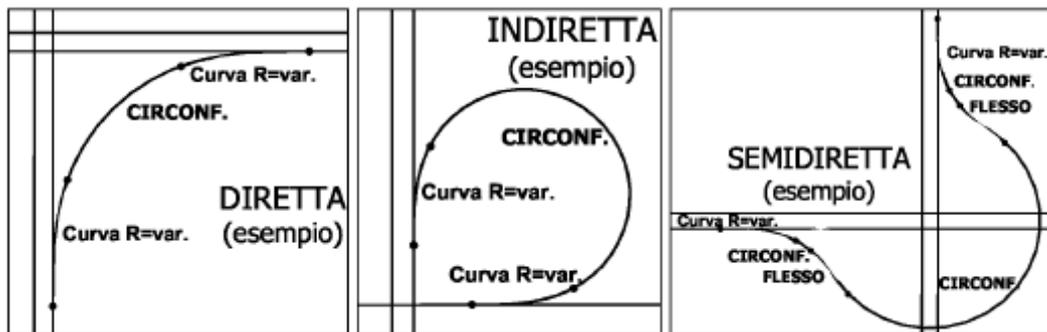
Nel seguito verranno descritte le caratteristiche geometriche delle rampe di svincolo e le modalità di dimensionamento delle corsie specializzate previste dal progetto.

Nell'ultimo paragrafo si approfondirà anche il dimensionamento delle rotatorie, previste dal progetto oggetto della seguente relazione, così come prescritto dal DM 2006.

3.3 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLE RAMPE DI SVINCOLO

I complessi sistemi di interconnessione di progetto necessitano un'attenta verifica della congruenza degli elementi geometrici in relazione agli intervalli di velocità fissati.

La normativa individua le seguenti possibili tipologie di rampe e le corrispondenti tipiche composizioni geometriche planimetriche come indicate nella figura sottostante:



Per l'inserimento delle curve a raggio variabile (clotoidi) va fatto riferimento ai criteri contenuti nel D.M. 5.11.2001. Per i tratti di decelerazione delle uscite ad ago, e nei casi in cui il tronco di accelerazione nelle immissioni si sviluppi parzialmente con un elemento a curvatura variabile, il progettista dovrà scegliere opportunamente una curva a raggio variabile, anche composita, prescindendo dalle indicazioni del citato D.M.

L'intervallo di velocità di progetto da adottarsi per ciascuna tipologia prevista e indicato nella successiva. Per velocità di progetto delle rampe si intende quella dell'elemento rampa con esclusione dei dispositivi di immissione e/o decelerazione.

Tipi di rampe	Intersezioni Tipo 1 (fig.3), escluse B/B, D/D, B/D, D/B.		Intersezioni Tipo 2 (fig.3), e B/B, D/D, B/D, D/B.	
	Diretta	50-80 km/h		40-60 km/h
Semidiretta	40-70 km/h		40-60 km/h	
Indiretta	in uscita da A	40 km/h	in uscita dalla strada di livello ger. superiore	40 km/h
	in entrata su A	30 km/h	in entrata sulla strada di livello ger. superiore	30 km/h

Per le rampe indirette il valore indicato in tabella rappresenta la velocità minima di progetto mentre la velocità di progetto massima si assume pari a quella della corrispondente rampa semidiretta. Rispetto alla velocità di progetto dovrà essere verificata la sussistenza, lungo le rampe, di visuali libere commisurate alla distanza di visibilità per l'arresto ai sensi del DM 5.11.2001.

Nel caso specifico, considerata la fase progettuale, si è assunto un intervallo delle velocità di progetto, per tutte le rampe, pari a 40÷60 km/h. Nelle successive fasi progettuali si approfondiranno le verifiche definendo con precisione le velocità di progetto in funzione del tipo di intersezione e della tipologia di rampa.

I parametri fondamentali per il disegno geometrico sono quelli rappresentati nella tabella sottostante. Al raggio planimetrico minimo è sempre associata la pendenza massima del 7,0%. Per raggi superiori la pendenza sarà definita congruentemente con quanto indicato nel DM 5.11.2001.

Velocità di progetto	(km/h)	30	40	50	60	70	80
Raggio planimetrico minimo	(m)	25	45	75	120	180	250
Pendenza max in salita	(%)	10	7,0		5,0		
Pendenza max in discesa	(%)	10	8,0		6,0		
Raggi minimi verticali convessi	(m)	500	1000	1500	2000	2800	4000
Raggi minimi verticali concavi	(m)	250	500	750	1000	1400	2000
Distanza di visuale minima	(m)	25	35	50	70	90	115

La larghezza minima degli elementi modulari degli svincoli sono determinate in funzione della strada di livello gerarchico superiore, tra quelle confluenti nel nodo. Fatti salvi allargamenti di corsia necessari in relazione ai valori dei raggi planimetrici adottati, tali larghezze sono indicate nella tabella successiva.

Strade extraurbane				
elemento modulare	Tipo di strada principale	Larghezza corsie (m)	Larghezza banchina in destra (m)	Larghezza banchina in sinistra (m)
Corsie specializzate di uscita e di immissione	A	3,75	2.50	-
	B	3,75	1.75	-
Rampe monodirezionali	A	1 corsia: 4,00	1.00	1.00
		2 corsie: 2 x 3,50		
	B	1 corsia: 4,00	1.00	1.00
		2 corsie: 2 x 3,50		
Rampe bidirezionali	A	1 corsia: 3,50	1.00	-
	B	1 corsia: 3,50	1.00	-

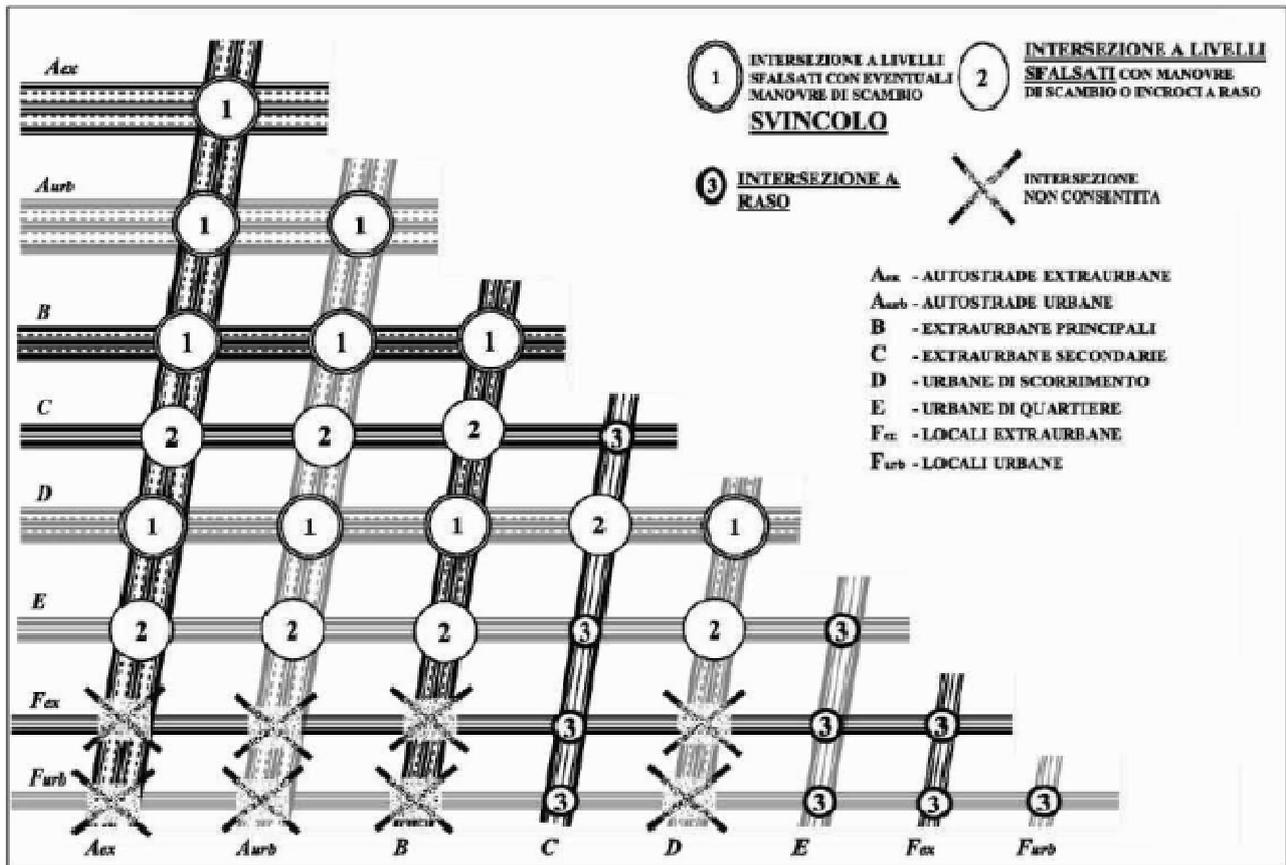
Strade urbane				
elemento modulare	Tipo di strada principale	Larghezza corsie (m)	Larghezza banchina in destra (m)	Larghezza banchina in sinistra (m)
Corsie specializzate di uscita e di immissione	A	3,75	2.50	-
	D	3,25	1.00	-
Rampe monodirezionali	A	1 corsia: 4,00	1.00	1.00
		2 corsie: 2 x 3,50		
	D	1 corsia: 4,00	1.00	1.00
		2 corsie: 2 x 3,50		
Rampe bidirezionali	A	1 corsia: 3,50	1.00	-
	D	1 corsia: 3,50	1.00	-

Per le rampe di svincolo, coerentemente con quanto previsto dalla normativa vigente, si sono assunte le seguenti sezioni stradali tipologiche:

- Rampa di svincolo monodirezionale a singola corsia: larghezza della corsia 4,00 m con banchine in destra e in sinistra rispettivamente pari a 1,00 m e 1,50 m, con larghezza complessiva pavimentata pari a 6,50 m;
- Rampa di svincolo monodirezionale a doppia corsia: larghezza delle corsie 3,75 m con banchine in destra e in sinistra pari a 1,50 m, con larghezza complessiva pavimentata pari a 10,50 m;
- Rampa di svincolo bidirezionale: larghezza delle corsie 3,75 m con banchine in destra e in sinistra rispettivamente pari a 1,50 m e 1,50 m, con larghezza complessiva pavimentata pari a 10,50 m.

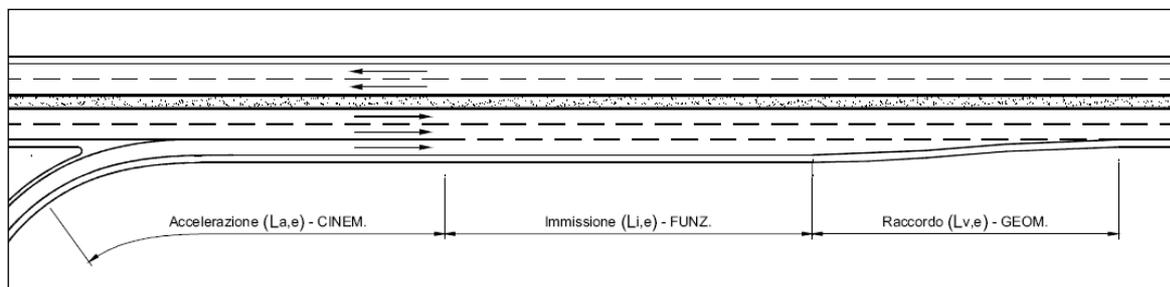
Per le larghezze degli elementi marginali si rinvia a quanto contenuto nel DM 05.11.2001, assimilando le rampe dirette e semidirette delle intersezioni di tipo 1 (sotto

representazione grafica dei tipi di svincolo ammessi) a strade di tipo C e tutte le altre a strade extraurbane di tipo F.



3.4 CORSIE SPECIALIZZATE

Corsia di entrata o di immissione



DM 19/04/2006: Modalità di costruzione delle corsie di accelerazione

con:

- Tratto di accelerazione di lunghezza $L_{a,e}$ la cui lunghezza si determina in base a criteri cinematici;
- Tratto di immissione di lunghezza $L_{i,e}$ da dimensionare secondo criteri funzionali. Gli elementi e i parametri da determinare sono in funzione della domanda di traffico riferita al periodo di punta di progetto;
- Elemento di raccordo di lunghezza $L_{v,e}$ la cui lunghezza si determina in funzione della velocità di progetto della strada sulla quale la corsia si immette. Per $V_p > 80$ km/h $L_{v,e}$ è pari a 75 m.

La lunghezza del tratto di accelerazione $L_{a,e}$ viene calcolata pertanto mediante la seguente espressione:

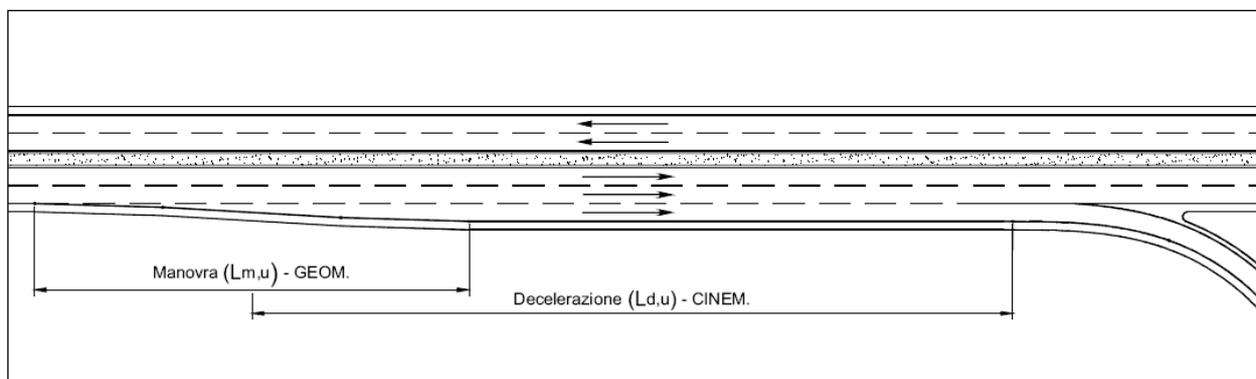
$$L = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2a}$$

con:

- $L_{a,e}$ (m) è la lunghezza necessaria per la variazione cinematica;
- v_1 (m/s) è pari all'80% della velocità di progetto della strada sulla quale la corsia si immette. Questa velocità v_1 è determinata dal diagramma di velocità (secondo quanto riportato nel D.M. 5/11/2001);

- v_2 (m/s) è la velocità di progetto della rampa nel punto di inizio del tratto di accelerazione della corsia di entrata (per v_2 si assume la velocità di progetto corrispondente al raggio della curva di deviazione della rampa di entrata);
- a (m/s²) è l'accelerazione assunta per la manovra pari a 1.0 m/s².

Corsia di uscita o di diversione



DM 19/04/2006: Modalità di costruzione delle corsie di decelerazione

con:

- Tratto di manovra di lunghezza $L_{m,u}$. Per $V_p > 120$ km/h $L_{v,e}$ è pari a 90 m.
- Tratto di decelerazione di lunghezza $L_{d,u}$ (comprendente metà della lunghezza del tratto di manovra $L_{m,u}$) parallelo all'asse principale della strada, nel caso di tipologia parallela (nostro caso).

La lunghezza del tratto di decelerazione $L_{d,u}$ deve essere correlata alla diminuzione di velocità longitudinale tra quella del ramo da cui provengono i veicoli in uscita e quella ammissibile con il raggio di curvatura della rampa.

La lunghezza del tratto di decelerazione $L_{d,u}$ viene calcolata pertanto mediante la seguente espressione:

$$L = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2a}$$

dove:

- $L_{d,u}$ (m) è la lunghezza necessaria per la variazione cinematica;
- v_1 (m/s) è la velocità di progetto del tratto di strada da cui provengono i veicoli in uscita, determinata dal diagramma di velocità secondo quanto riportato nel D.M. 5/11/2001);
- v_2 (m/s) è la velocità di uscita dal tronco di decelerazione (per v_2 si assume la velocità di progetto corrispondente al raggio della curva di deviazione della rampa di uscita);
- a (m/s²) è la decelerazione assunta per la manovra, per strade di tipo A pari a 3 m/s².

3.5 DIMENSIONAMENTO DEGLI ELEMENTI GEOMETRICI DEGLI SVINCOLI

Si riporta di seguito la successione degli svincoli, secondo le progressive crescenti dell'asse principale, con la descrizione sintetica e le tabelle di dimensionamento delle corsie di accelerazione e di decelerazione.

Interconnessione con SP2

L'interconnessione SP2 consente il raccordo tra la Tratta D "Breve in progetto e l'esistente Strada Provinciale 2 sita nel Comune di Bellusco. L'interconnessione prevede la realizzazione ex-novo di una viabilità Categoria C Extraurbana Principale ad unica carreggiata costituita da 2 corsie da 3,75m, una per senso di marcia, e banchine in destra di larghezza pari a 1,50m come prescritto dal DM2001. Il tracciato che si sviluppa a partire dalla nuova rotatoria (denominata negli elaborati come R3 e le cui caratteristiche geometriche sono descritte nel paragrafo 3.6) prevista lungo l'esistente "Tangenziale Sud Vimercate", fino all'esistente rotatoria tra la SP2 e Via Brianza nel Comune di Bellusco. La nuova viabilità in progetto sovrappasserà, lungo il suo sviluppo, il tracciato dell'asse principale della Tratta D "Breve" in corrispondenza della pk 4+550 e sarà interrotta da due rotatorie alla quale si innestano le rampe di svincolo in uscita ed in ingresso dall'asse principale. Questo sistema di interconnessione garantisce il compimento di tutte le manovre possibili da e verso la Tratta D "Breve".

Gli elementi plano-altimetrici costituenti il nodo sono stati dimensionati e verificati secondo quanto prescritto e indicato dal DM2006, fatta eccezione per la viabilità sopra descritta,

denominata negli elaborati come “Asse R3 – Ramo C”, che è stata dimensionata e verificata secondo quanto previsto dal DM2001.

Sia sulle rampe di diversione che di immissione, si assume da progetto un intervallo di velocità avente il limite inferiore pari 40 km/h e limite superiore pari a 60 km/h.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva per gli assi principali di svincolo con i nominativi riscontrabili negli elaborati grafici:

Asse R3 – Ramo C										
Tipo	Progressiva Iniziale	Progressiva Finale	Raggio	Sviluppo	V _P **	L _{min} ***	Clotoidi****			
							A	A _{prec}	A _{succ}	A1/A2
RET.	0,00	475,20	0,00	457,20	100	150,00	-	-	-	-
CLOT	475,20	575,20	0,00	100,00	100	-	300	-	300	-
ARCO	575,20	672,43	900,00	97,23	100	69,44	-	-	-	-
CLOT.	672,43	772,43	0,00	100,00	100	-	300	300	200	1,500
RET.	772,43	1437,81	0,00	665,38	100	150,00	-	-	-	-
CLOT.	1437,81	1537,81	0,00	100,00	100	-	200	300	200	1,50
ARCO	1537,81	1988,34	400,00	450,53	97	67,03	-	-	-	-
CLOT.	1988,34	2088,34	0,00	100,00	100	-	200	200	-	-
RET.	2088,34	2103,42	0,00	15,08*	100	150,00	-	-	-	-

*il rettilineo si innesta con la rotonda esistente pertanto non può avere lo sviluppo minimo previsto dal DM2001.

**la velocità di progetto non tiene conto dell'innesto delle due rotonde ma quella che la geometria del tracciato consente a prescindere dalle altre condizioni; assunzione a favore di sicurezza.

*** il rettilineo oltre ad una lunghezza minima ha anche una lunghezza massima funzione della velocità di progetto che nel caso specifico è pari a 2200m; condizione rispettata.

**** le clotoidi sono state verificate secondo quanto prescritto dal DM2001.

Rampa Accelerazione Nord						
Progressiva Iniziale	Progressiva Finale	P long. max in salita [%]	P% long. max in discesa [%]	Raccordo convesso (dosso) [m]	Raccordo concavo (sacca) [m]	V _p [km/h]
0,,00	624,46	0,33%	-2,00%	5000	2000	60,00

Rampa Decelerazione Nord						
Progressiva Iniziale	Progressiva Finale	P long. max in salita [%]	P% long. max in discesa [%]	Raccordo convesso (dosso) [m]	Raccordo concavo (sacca) [m]	V _p [km/h]
0,,00	624,46	2,00%	-0,03%	5000	2000	60,00

Rampa Accelerazione Sud						
Progressiva Iniziale	Progressiva Finale	P long. max in salita [%]	P% long. max in discesa [%]	Raccordo convesso (dosso) [m]	Raccordo concavo (sacca) [m]	Vp [km/h]
0,,00	624,46	0,01%	-2,00%	5500	2000	60,00

Rampa Decelerazione Sud						
Progressiva Iniziale	Progressiva Finale	P long. max in salita [%]	P% long. max in discesa [%]	Raccordo convesso (dosso) [m]	Raccordo concavo (sacca) [m]	Vp [km/h]
0,,00	624,46	2,00%	-1,00%	2000	2000	60,00

Come si può desumere, le pendenze longitudinali massime rientrano nei limiti fissati dalle norme (5-7% in salita, 6-8% in discesa). I raccordi verticali rispettano i valori da norma.

Le corsie specializzate di manovra vengono definite secondo quanto illustrato nel paragrafo 3.4. Per il calcolo cinematico si è considerata una velocità autostradale pari a 140 km/h (Strada tipo A – Autostrada urbana) e, sia sulle rampe di diversione che di immissione, si assume da progetto un intervallo di velocità avente il limite inferiore pari 40 km/h e limite superiore pari a 60 km/h.

Di seguito si riportano i valori di base e i risultati di calcolo per ogni singola corsia specializzata:

Interconnessione SP2 – Corsia di accelerazione su Carreggiata Nord dir. A8/A9 (Rampa Accelerazione Nord)

Raggio curva circolare [m]	140
V ₂ Velocità di progetto curva circolare [km/h]	60
Velocità di progetto asse autostradale [km/h]	140
V ₁ Velocità fine tratto di accelerazione [km/h]	112
a Accelerazione [m/s ²]	1
Lunghezza tratto di accelerazione L_{A,E} [m]	345,1
Lunghezza tratto di immissione L_{I,E} [m]*	0
Tronco di raccordo L_{V,E} [m]	75
Lunghezza totale corsia di immissione L [m]	420,1

*il tratto di immissione ha carattere funzionale pertanto verrà approfondito nelle fasi progettuali successive.

Interconnessione SP2 – Corsia di diversione da Carreggiata Nord dir. SP2 (Rampa Decelerazione Nord)

V ₁ Velocità di progetto asse autostradale [km/h]	140
Raggio curva circolare [m]	140
V ₂ Velocità di progetto curva circolare [km/h]	60
a Accelerazione [m/s ²]	3
Numero di corsie	1
Lunghezza tratto di decelerazione L_{D,U} [m]	205,8
Tronco di manovra L_{M,U} [m]	90
Lunghezza totale corsia di immissione L [m]	250,8

Interconnessione SP2 – Corsia di accelerazione su Carreggiata Sud dir. A4 (Rampa Accelerazione Sud)

Raggio curva circolare [m]	140
V ₂ Velocità di progetto curva circolare [km/h]	60
Velocità di progetto asse autostradale [km/h]	140
V ₁ Velocità fine tratto di accelerazione [km/h]	112
a Accelerazione [m/s ²]	1
Lunghezza tratto di accelerazione L_{A,E} [m]	345,1
Lunghezza tratto di immissione L_{I,E} [m]*	0
Tronco di raccordo L_{V,E} [m]	75
Lunghezza totale corsia di immissione L [m]	420,1

*il tratto di immissione ha carattere funzionale pertanto verrà approfondito nelle fasi progettuali successive.

Interconnessione SP2 – Corsia di diversione da Carreggiata Sud dir. SP2 (Rampa Decelerazione Sud)

V ₁ Velocità di progetto asse autostradale [km/h]	140
Raggio curva circolare [m]	140
V ₂ Velocità di progetto curva circolare [km/h]	60
a Accelerazione [m/s ²]	3
Numero di corsie	1
Lunghezza tratto di decelerazione L_{D,U} [m]	205,8
Tronco di manovra L_{M,U} [m]	90
Lunghezza totale corsia di immissione L [m]	250,8

Interconnessione con svincolo TEEM – A4 esistente

Il raccordo della Tratta D “Breve” sull’esistente svincolo con configurazione a “Trombetta” di interconnessione tra TEEM e A4 avviene mediante il potenziamento dell’attuale svincolo in modo da consentire il compimento di tutte le manovre possibili attraverso un’intersezione a livelli sfalsati a tre livelli. A rendere ancora più complessa la soluzione progettuale è la presenza della vicina area di servizio “Brianza Nord” che allo stato attuale presenta rampe dedicate confluenti nello svincolo esistente.

Per tale ragione la soluzione prevede, seppur sfruttando parte della rampe esistenti, la realizzazione di 10 rampe di svincolo garantendo tutte le manovre possibili comprensive di quelle esistenti dalla stazione di servizio direzione Torino e verso la stazione di servizio direzione Venezia.

Gli elementi plano-altimetrici costituenti il nodo sono stati dimensionati e verificati secondo quanto prescritto e indicato dal DM2006

Asse A						
Progressiva Iniziale	Progressiva Finale	P long. max in salita [%]	P% long. max in discesa [%]	Raccordo convesso (dosso) [m]	Raccordo concavo (sacca) [m]	Vp [km/h]
0,,00	713,38	1,99%	-5,00%	2000	1000	60,00

Asse B						
Progressiva Iniziale	Progressiva Finale	P long. max in salita [%]	P% long. max in discesa [%]	Raccordo convesso (dosso) [m]	Raccordo concavo (sacca) [m]	Vp [km/h]
0,,00	1567,22	5,00%	-6,00%	2000	1800	60,00

Asse C						
Progressiva Iniziale	Progressiva Finale	P long. max in salita [%]	P% long. max in discesa [%]	Raccordo convesso (dosso) [m]	Raccordo concavo (sacca) [m]	Vp [km/h]
0,,00	1141,66	3,75%	-4,63%	2000	2000	60,00

Asse D						
Progressiva Iniziale	Progressiva Finale	P long. max in salita [%]	P% long. max in discesa [%]	Raccordo convesso (dosso) [m]	Raccordo concavo (sacca) [m]	Vp [km/h]
0,,00	981,37	5,00%	-5,00%	2400	1000	60,00

Asse E						
Progressiva Iniziale	Progressiva Finale	P long. max in salita [%]	P% long. max in discesa [%]	Raccordo convesso (dosso) [m]	Raccordo concavo (sacca) [m]	Vp [km/h]
0,,00	379,39	3,00%	-4,98%	5000	2000	60,00

Asse F						
Progressiva Iniziale	Progressiva Finale	P long. max in salita [%]	P% long. max in discesa [%]	Raccordo convesso (dosso) [m]	Raccordo concavo (sacca) [m]	Vp [km/h]
0,,00	899,17	4,76%	-6,00%	2000	1700	60,00

Asse G						
Progressiva Iniziale	Progressiva Finale	P long. max in salita [%]	P% long. max in discesa [%]	Raccordo convesso (dosso) [m]	Raccordo concavo (sacca) [m]	Vp [km/h]
0,,00	848,44	4,74%	-3,50%	2000	1700	60,00

Asse H						
Progressiva Iniziale	Progressiva Finale	P long. max in salita [%]	P% long. max in discesa [%]	Raccordo convesso (dosso) [m]	Raccordo concavo (sacca) [m]	Vp [km/h]
0,,00	1742,36	5,00%	-0,85%	5000	1700	60,00

Asse I						
Progressiva Iniziale	Progressiva Finale	P long. max in salita [%]	P% long. max in discesa [%]	Raccordo convesso (dosso) [m]	Raccordo concavo (sacca) [m]	Vp [km/h]
0,,00	618,49	3,00%	-1,50%	2500	1400	60,00

Asse L						
Progressiva Iniziale	Progressiva Finale	P long. max in salita [%]	P% long. max in discesa [%]	Raccordo convesso (dosso) [m]	Raccordo concavo (sacca) [m]	Vp [km/h]
0,,00	409,27	5,00%	-0,44%	2000	1300	60,00

Come si può desumere le pendenze longitudinali massime rientrano nei limiti fissati dalle norme per Vp uguale a 60km/h (5% in salita, 6% in discesa). I raccordi verticali rispettano i valori da norma (raggio minimo verticale convesso 2000 m e raggio minimo verticale concavo 1000 m).

Le corsie specializzate di manovra vengono definite secondo quanto illustrato nel paragrafo 3.4. Per il calcolo cinematico si è considerata una velocità autostradale pari a 140 km/h (Strada tipo A – Autostrada urbana) e, sia sulle rampe di diversione che di immissione, si assume da progetto un intervallo di velocità avente il limite inferiore pari 40 km/h e limite superiore pari a 60 km/h.

Di seguito si riportano i valori di base e i risultati di calcolo per ogni singola corsia specializzata:

Interconnessione TEEM-A4 – Corsia di accelerazione su Carreggiata Nord dir. A8/A9 da A4 dir. Torino (Asse A)

Raggio curva circolare [m]	200
V ₂ Velocità di progetto curva circolare [km/h]	60
Velocità di progetto asse autostradale [km/h]	140
V ₁ Velocità fine tratto di accelerazione [km/h]	112
a Accelerazione [m/s ²]	1
Lunghezza tratto di accelerazione L_{A,E} [m]	345,1
Lunghezza tratto di immissione L_{I,E} [m]*	0
Tronco di raccordo L_{V,E} [m]	75
Lunghezza totale corsia di immissione L [m]	420,1

*il tratto di immissione ha carattere funzionale pertanto verrà approfondito nelle fasi progettuali successive.

Interconnessione TEEM-A4 – Corsia di accelerazione su Carreggiata Nord dir. A8/A9 da A4 dir. Venezia (Asse B)

Raggio curva circolare [m]	196
V ₂ Velocità di progetto curva circolare [km/h]	60
Velocità di progetto asse autostradale [km/h]	140
V ₁ Velocità fine tratto di accelerazione [km/h]	112
a Accelerazione [m/s ²]	1
Lunghezza tratto di accelerazione L_{A,E} [m]	345,1
Lunghezza tratto di immissione L_{I,E} [m]*	0
Tronco di raccordo L_{V,E} [m]	75
Lunghezza totale corsia di immissione L [m]	420,1

*il tratto di immissione ha carattere funzionale pertanto verrà approfondito nelle fasi progettuali successive.

Interconnessione TEEM-A4 – Corsia di diversione da A4 dir. Venezia a Carreggiata Nord dir. A8/A9 (Asse B)

V ₁ Velocità di progetto asse autostradale [km/h]	140
Raggio curva circolare [m]	150
V ₂ Velocità di progetto curva circolare [km/h]	60
a Accelerazione [m/s ²]	3
Numero di corsie	2
Lunghezza tratto di decelerazione L_{D,U} [m]	205,8
Tronco di manovra L_{M,U} [m]	180
Lunghezza totale corsia di immissione L [m]	295,8

Interconnessione TEEM-A4 – Corsia di diversione da A4 dir. Venezia a Carreggiata A4 dir. Venezia (Asse C)

V ₁ Velocità di progetto asse autostradale [km/h]	140
Raggio curva circolare [m]	150
V ₂ Velocità di progetto curva circolare [km/h]	60
a Accelerazione [m/s ²]	3
Numero di corsie	1
Lunghezza tratto di decelerazione L_{D,U} [m]	205,8
Tronco di manovra L_{M,U} [m]	90
Lunghezza totale corsia di immissione L [m]	250,8

Interconnessione TEEM-A4 – Corsia di accelerazione su TEEM dir. A1 da Asse C (Asse D)

Raggio curva circolare [m]	600
V ₂ Velocità di progetto curva circolare [km/h]	60
Velocità di progetto asse autostradale [km/h]	140
V ₁ Velocità fine tratto di accelerazione [km/h]	112
a Accelerazione [m/s ²]	1
Lunghezza tratto di accelerazione L_{A,E} [m]	345,1
Lunghezza tratto di immissione L_{I,E} [m]*	0
Tronco di raccordo L_{V,E} [m]	75
Lunghezza totale corsia di immissione L [m]	420,1

*il tratto di immissione ha carattere funzionale pertanto verrà approfondito nelle fasi progettuali successive.

Interconnessione TEEM-A4 – Corsia di diversione da Carreggiata Sud dir. A4 ad Asse C (Asse G)

V ₁ Velocità di progetto asse autostradale [km/h]	140
Raggio curva circolare [m]	300
V ₂ Velocità di progetto curva circolare [km/h]	60
a Accelerazione [m/s ²]	3
Numero di corsie	2
Lunghezza tratto di decelerazione L_{D,U} [m]	205,8
Tronco di manovra L_{M,U} [m]	180
Lunghezza totale corsia di immissione L [m]	295,8

Interconnessione TEEM-A4 – Corsia di accelerazione su A4 dir. Venezia da TEEM dir. A8/A9 (Asse H)

Raggio curva circolare [m]**	-
V ₂ Velocità di progetto curva circolare [km/h]**	60
Velocità di progetto asse autostradale [km/h]	140
V ₁ Velocità fine tratto di accelerazione [km/h]	112
a Accelerazione [m/s ²]	1
Lunghezza tratto di accelerazione L_{A,E} [m]	345,1
Lunghezza tratto di immissione L_{I,E} [m]*	0
Tronco di raccordo L_{V,E} [m]	75
Lunghezza totale corsia di immissione L [m]	420,1

*il tratto di immissione ha carattere funzionale pertanto verrà approfondito nelle fasi progettuali successive.

**prima di immettersi sull'A4 la rampa procede mediante rettilineo pertanto la velocità di progetto è pari al valore del limite superiore dell'intervallo di progetto assunto.

Interconnessione TEEM-A4 – Corsia di diversione da TEEM dir. A8/A9 a rampa esistente in immissione su A4 dir. Venezia (Asse I)

V ₁ Velocità di progetto asse autostradale [km/h]	140
Raggio curva circolare [m]	500
V ₂ Velocità di progetto curva circolare [km/h]	60
a Accelerazione [m/s ²]	3
Numero di corsie	1
Lunghezza tratto di decelerazione L_{D,U} [m]	205,8
Tronco di manovra L_{M,U} [m]	90
Lunghezza totale corsia di immissione L [m]	250,8

3.6 INTERSEZIONI A ROTATORIA

Si riportano di seguito, dopo una breve introduzione sulla normativa vigente, le caratteristiche geometriche delle rotatorie previste per l'interconnessione con l'SP2.

Interconnessione con SP2 - Rotatorie

Il Decreto Ministeriale 19 aprile 2006 *"Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali"*, definisce tre tipologie fondamentali di rotatorie in base al diametro della circonferenza esterna:

- 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.

Le rotatorie oggetto del progetto rientrano nella tipologia delle rotatorie convenzionali avendo un diametro esterno pari a 50m.

Un ulteriore elemento distintivo tra le tre tipologie fondamentali di attrezzatura rotatoria è rappresentato dalla sistemazione dell'isola circolare centrale, che può essere resa in parte transitabile per le manovre dei veicoli pesanti, nel caso di mini-rotatorie con diametro esterno compreso fra 25 e 18 m, mentre lo diventa completamente per quelle con diametro compreso fra 18 e 14 m; le rotatorie compatte sono invece caratterizzate da bordure non sormontabili dell'isola centrale. Per le rotatorie in esame, come previsto dal DM, trattandosi di rotatorie convenzionali, si prevede un'isola centrale non sormontabile.

Un'intersezione stradale risolta a rotatoria va accompagnata lungo i rami di approccio da idonea segnaletica, se necessario anche integrativa rispetto a quella di preavviso, e da eventuali ulteriori strumenti di regolazione della velocità.

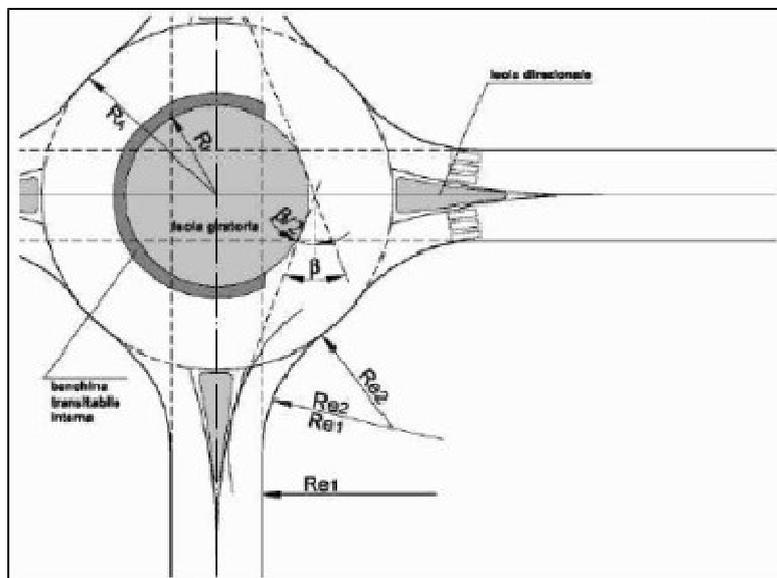
Le caratteristiche stradali delle intersezioni a rotatoria sono state definite in base a quanto prescritto dal DM. All'interno del par. 4.5.2 della normativa, in particolare, sono indicati gli elementi modulari delle rotatorie. Si riporta tabella del Decreto:

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 indicazioni relativamente alle dimensioni delle banchine da prevedere nella corona rotatoria. Si sono previste a tal riguardo banchine sia in destra che sinistra pari ad 1,00 m.

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 (figura sopra riportata). Per determinare la tangente al ciglio dell'isola centrale corrispondente all'angolo di deviazione β , bisogna aggiungere al raggio di entrata

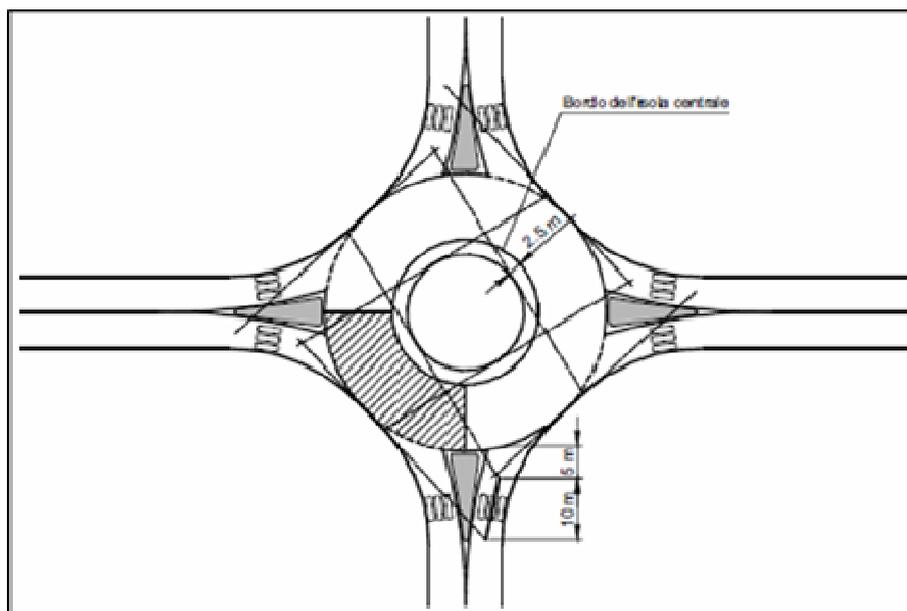
Re,2 un incremento b pari a 3,50m. Per ciascun braccio di immissione si raccomanda un valore dell'angolo di deviazione β di almeno 45° .

Per gli altri elementi geometrici i valori di riferimento, indicati dalle normative o da criteri di buona progettazione, sono:

- Valori Minimi Raggi di ingresso dei rami: 10m in ambito urbano e 12m in ambito extraurbano;
- Valori minimi Raggi di uscita dei rami: 12m in ambito urbano e 14m in ambito extraurbano.

Particolare attenzione è stata portata alle condizioni di visibilità per gli utenti confluenti nella rotatoria; i conducenti che si approssimano all'intersezione devono infatti vedere i veicoli che percorrono l'anello centrale al fine di cedere ad essi la precedenza o eventualmente arrestarsi; a tal fine sarà necessario quindi garantire una visione completamente libera sulla sinistra per un quarto dello sviluppo dell'intero anello, posizionando l'osservatore a quindici metri dalla segnaletica che delimita la banchina esterna della rotatoria.

Le rotatorie previste sono state progettate secondo tali criteri in conformità con la normativa vigente.



Si riportano in tabella le caratteristiche geometriche delle rotatorie in progetto:

Rotatoria R1								
Tipologia	Progressiva Iniziale	Progressiva Finale	Diametro esterno [m]	P long. max [%]	P trasv. [%]	Larghezza corsia anello [m]	Bracci ingresso [m]	Bracci uscita [m]
Convenzionale	0,00	119,37	50,00	0,16%	-2,00%	6,00	3,75	4,50

Rotatoria R2								
Tipologia	Progressiva Iniziale	Progressiva Finale	Diametro esterno [m]	P long. max [%]	P trasv. [%]	Larghezza corsia anello [m]	Bracci ingresso [m]	Bracci uscita [m]
Convenzionale	0,00	119,37	50,00	0,44%	-2,00%	6,00	3,75	4,50

Rotatoria R3								
Tipologia	Progressiva Iniziale	Progressiva Finale	Diametro esterno [m]	P long. max [%]	P trasv. [%]	Larghezza corsia anello [m]	Bracci ingresso [m]	Bracci uscita [m]
Convenzionale	0,00	119,37	50,00	0,44%	-2,00%	6,00	3,75	4,50

Per la corsia dell'anello centrale, per tutte e tre le rotatorie in progetto di larghezza pari a 6,00 m come previsto dal DM per rotatorie convenzionali, viene prevista una banchina di larghezza 1,00 m sia in desta che in sinistra.

La realizzazione della rotatoria R3 il cui posizionamento è previsto lungo la "Tangenziale Sud Vimercate" comporta l'adeguamento della viabilità esistente come meglio illustrato negli elaborati progettuali (Asse R3 – Ramo A ed Asse R3 – Ramo B)

4. INTERFERENZE CON LE VIABILITA' PREESISTENTI

A completamento della progettazione illustrata nei paragrafi precedenti nel seguente capitolo si elencano le viabilità intercettate dall'intervento in progetto e come si è previsto di intervenire a riguardo. Si vedano per maggiori dettagli le sezioni tipologiche S SD DD 000 GE03 000 ST 001 A e S SD DD 000 GE03 000 ST 001 A. Data la fase progettuale in cui siamo si rimanda per ulteriori approfondimenti ed analisi alle fasi successive dell'iter progettuale.

- Strada Provinciale SP3 → Realizzazione Cavalcavia di scavalco dell'asse principale della Tratta D "Breve";
- Via San Nazzaro → Realizzazione Cavalcavia di scavalco dell'asse principale della Tratta D "Breve";

- Via per Ornago → Realizzazione Cavalcavia di scavalco dell'asse principale della Tratta D "Breve";
- Strada Provinciale SP211 → Realizzazione Cavalcavia di scavalco dell'asse principale della Tratta D "Breve";
- Via Damiano Chiesa → Realizzazione Cavalcavia di scavalco dell'asse principale della Tratta D "Breve".

5. IPOTESI ALTERNATIVA

Lo studio oggetto dell'incarico è volto all'individuazione della soluzione progettuale che tra le diverse ipotesi alternative risulti massimizzare i benefici del futuro intervento.

Per tale ragione si è cercato di individuare, dal punto di vista della tecnica stradale, più opzioni che rispondessero alle esigenze della Committenza e della comunità. Nel seguito si descrive una possibile soluzione alternativa che anziché correre ad Est della Tangenziale Est prosegue la Tratta C mantenendosi ad Ovest della Tangenziale Est collegandosi con la stessa in zona Concorezzo.

Tale soluzione progettuale, seppur valida dal punto di vista della tecnica stradale, non risponde alle necessità della Committenza di avere un collegamento diretto con l'autostrada A4 ed inoltre comporterebbe una variante alla Tratta C già progettata e approvata. **L'alternativa studiata dal punto di vista stradale e nel seguito brevemente descritta non è, per quanto sopra definito, percorribile, pertanto esclusa dalle analisi specialistiche affrontate dal presente studio di fattibilità.**

5.1 DESCRIZIONE DEL TRACCIATO

L'alternativa in studio, nel seguito definita Tratta D "Breve Ovest", prosegue la curva 8 del tracciato di progetto della Tratta C in corrispondenza della pk 13+436 per circa 1600 m. Il tratto presenta un andamento in trincea, in continuità con lo stato di progetto della Tratta C della Pedemontana Lombarda, proseguendo dal chilometro 0+750 circa in galleria a causa della presenza di numerosi insediamenti produttivi e residenziali. La galleria prosegue a doppia canna per circa 2 km al fine di superare l'area insediativa e di recuperare il dislivello dovuto alla profondità alla quale verrebbe costruita al fine di non recare danno agli edifici esistenti. Tali profondità sono al momento state ipotizzate sulla base di esperienze pregresse (circa 20 m). Terminato il tratto curvilineo, internamente alla galleria sopra descritta, il tracciato prosegue con un rettilineo di circa 900 m seguito da un flesso con curve molto ampie con la quale il tracciato esce dalla galleria mantenendosi sempre in trincea. In prossimità della pk 4+600 la Tratta D "Breve Ovest" continua nuovamente in galleria fino all'intersezione con la Tangenziale Est in modo da superare gli insediamenti presenti nel Comune di Concorezzo con un andamento pressochè rettilineo intercettando la A51 con un angolo prossimo ai 90°.

L'intersezione con la Tangenziale Est avviene mediante svincolo "a Trombetta", soluzione che garantisce il compimento di tutte le manovre possibili. L'intervento oggetto di questa soluzione alternativa prevede inoltre il potenziamento della Tangenziale Est dallo svincolo suddetto fino al casello di Agrate mediante la realizzazione della terza corsia di marcia e

conseguente adeguamento degli svincoli 15-16-17 intercettati; il potenziamento è da prevedersi sia in direzione nord che in direzione sud.

Anche per il casello di Agrate, al fine di creare il collegamento diretto della Tratta D “Breve Ovest” all’Autostrada Torino-Venezia, viene previsto un potenziamento della barriera di esazione che consente anche agli utenti provenienti da nord l’ingresso diretto in A4.

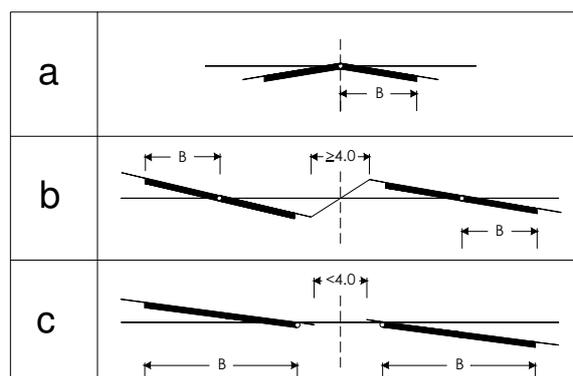
In ogni caso come specificato in premessa tale soluzione non ha un accesso diretto in A4 in quanto per poter accedere all’autostrada in Concessione ad Aspi, l’utenza deve necessariamente immettersi sulla Tangenziale Est in Concessione a Milano Serravalle – Milano Tangenziali e solo successivamente, attraverso il potenziamento del casello di esazione esistente, proseguire in Autostrada. Tale soluzione non risponde alle necessità di Autostrada Pedemontana Lombarda di accedere direttamente in A4.

5.2 CRITERI PROGETTUALI E CARATTERISTICHE DI TRACCIATO

Per i criteri progettuali si rimanda a quanto descritto nei capitoli precedenti relativamente alla progettazione della Tratta D “Breve”.

Nel seguito vengono rappresentate in tabella le principali caratteristiche del tracciato piano-altimetrico.

Anche in questo caso trattandosi di un’autostrada lo studio dell’asse planimetrico prevede due assi separati posizionati sull’interno di ciascuna carreggiata, secondo la tipologia “c” prevista nella seguente figura di cui al Decreto 5/11/2001:



Per ciascun asse è stato eseguito il tracciamento planimetrico con la convenzione che l’andamento crescente delle progressive segue la direttrice nord-sud. Gli assi sono stati distinti e denominati in funzione della direzione della carreggiata in Carreggiata Nord e Carreggiata Sud.

Rettifili

Carreggiata Nord						
Rettifilo n.	Progressiva Iniziale	Progressiva Finale	Sviluppo	V _P [km/h]	L _{min}	L _{max}
1	1826,13	2701,55	875,42	140,00	360	3080,00
2	3392,98	4132,06	739,38	140,00	360	3080,00
3	5265,74	6823,10	1557,36	140,00	360	3080,00

Carreggiata Sud						
Rettifilo n.	Progressiva Iniziale	Progressiva Finale	Sviluppo	V _P [km/h]	L _{min}	L _{max}
1	1820,51	2696,26	875,75	140,00	360	3080,00
2	3386,30	4125,67	739,37	140,00	360	3080,00
3	5261,90	6819,11	1557,21	140,00	360	3080,00

Curve circolari

Carreggiata Nord									
Curva n.	Progressiva Iniziale	Progressiva Finale	Raggio	Sviluppo	V _P	L _{min}	Clotoidi		
					[km/h]		A _{prec}	A _{succ}	A1/A2
1	0,00	1584,31	1589,65	1584,31	140	97,22	-*	620	-*
2	2990,54	3103,68	2500,00	113,14	140	97,22	850	850	1
3	4377,06	5020,74	2000,00	643,67	140	97,22	700	700	1

*il tracciamento continua e prosegue il tracciamento della TRATTA C.

Carreggiata Sud									
Curva n.	Progressiva Iniziale	Progressiva Finale	Raggio	Sviluppo	V _P	L _{min}	Clotoidi		
					[km/h]		A _{prec}	A _{succ}	A1/A2
1	0,00	1579,08	1584,60	1579,08	140	97,22	-*	618	-*
2	2984,98	3097,59	2494,95	112,62	140	97,22	848	848	1
3	4370,98	5016,59	2005,05	645,61	140	97,22	701	701	1

*il tracciamento continua e prosegue il tracciamento della TRATTA C.

Andamento altimetrico

Nel nostro caso specifico i valori dei raggi verticali risultano essere sempre superiori a quelli minimi calcolati secondo la normativa e presentano i seguenti valori:

- raggio convesso minimo 15.000 m
- raggio convesso massimo 20.000 m
- raggio concavo minimo 5.000 m
- raggio concavo massimo 5.000 m.

Svincolo con Tangenziale Est

Rampa Asse A						
Progressiva Iniziale	Progressiva Finale	P long. max in salita [%]	P% long. max in discesa [%]	Raccordo convesso (dosso) [m]	Raccordo concavo (sacca) [m]	Vp [km/h]
0,,00	437,57	5,00%	-0,98%	2000	1000	60,00

Rampa Asse B						
Progressiva Iniziale	Progressiva Finale	P long. max in salita [%]	P% long. max in discesa [%]	Raccordo convesso (dosso) [m]	Raccordo concavo (sacca) [m]	Vp [km/h]
0,,00	382,50	-	-6,00%	2000	1300	60,00

Rampa Asse C						
Progressiva Iniziale	Progressiva Finale	P long. max in salita [%]	P% long. max in discesa [%]	Raccordo convesso (dosso) [m]	Raccordo concavo (sacca) [m]	Vp [km/h]
0,,00	385,39	4,00%	-	2000	2000	60,00

Rampa Asse D						
Progressiva Iniziale	Progressiva Finale	P long. max in salita [%]	P% long. max in discesa [%]	Raccordo convesso (dosso) [m]	Raccordo concavo (sacca) [m]	Vp [km/h]
0,,00	483,91	1,09%	-3,30%	2000	2000	60,00

Interconnessione TANGENZIALE A51 – Corsia di accelerazione su A51 dir. Bologna da Asse A

Raggio curva circolare [m]	350
V ₂ Velocità di progetto curva circolare [km/h]	60
Velocità di progetto asse autostradale [km/h]	140
V ₁ Velocità fine tratto di accelerazione [km/h]	112
a Accelerazione [m/s ²]	1
Lunghezza tratto di accelerazione L_{A,E} [m]	345,1
Lunghezza tratto di immissione L_{I,E} [m]*	0
Tronco di raccordo L_{V,E} [m]	75
Lunghezza totale corsia di immissione L [m]	420,1

*il tratto di immissione ha carattere funzionale che si approfondisce nelle successive fasi progettuali

Interconnessione TANGENZIALE A51 – Corsia di diversione da A51 dir. Bologna ad Asse B

V ₁ Velocità di progetto asse autostradale [km/h]	140
Raggio curva circolare [m]	170
V ₂ Velocità di progetto curva circolare [km/h]	60
a Accelerazione [m/s ²]	3
Numero di corsie	1
Lunghezza tratto di decelerazione L_{D,U} [m]	205,8
Tronco di manovra L_{M,U} [m]	90,0
Lunghezza totale corsia di immissione L [m]	250,8

Interconnessione TANGENZIALE A51 – Corsia di accelerazione su A51 dir. Vimercate da Asse C

Raggio curva circolare [m]	55
V ₂ Velocità di progetto curva circolare [km/h]	41
Velocità di progetto asse autostradale [km/h]	140
V ₁ Velocità fine tratto di accelerazione [km/h]	112
a Accelerazione [m/s ²]	1
Lunghezza tratto di accelerazione L_{A,E} [m]	419,1
Lunghezza tratto di immissione L_{I,E} [m]*	0
Tronco di raccordo L_{V,E} [m]	75
Lunghezza totale corsia di immissione L [m]	494,1

*il tratto di immissione ha carattere funzionale che si approfondisce nelle successive fasi progettuali

Interconnessione TANGENZIALE A51 – Corsia di diversione da A51 dir. Vimercate ad Asse D

V ₁ Velocità di progetto asse autostradale [km/h]	140
Raggio curva circolare [m]	120
V ₂ Velocità di progetto curva circolare [km/h]	57
a Accelerazione [m/s ²]	3
Numero di corsie	1
Lunghezza tratto di decelerazione L_{D,U} [m]	210,3
Tronco di manovra L_{M,U} [m]	180,0
Lunghezza totale corsia di immissione L [m]	300,3