

# Appunti di Strade e Bim (Esercizi)

Università degli Studi di Napoli Federico II

Ivano D'Apice

@telegram



# Introduzione

Questi appunti sono presi a lezione. Per quanto sia stata fatta una revisione è altamente probabile (praticamente certo) che possano contenere errori, sia di stampa che di vero e proprio contenuto. Per eventuali proposte di correzione inviare mail a: [ivanodapice@hotmail.com](mailto:ivanodapice@hotmail.com).



# Indice

<b>1</b>	<b>Formulario I</b>	<b>i</b>
1.1	Esercizio 1 . . . . .	i
1.2	Esercizio 2 . . . . .	iii
1.3	Esercizio 3 . . . . .	iv
1.4	Esercizio 4 . . . . .	vi
1.5	Esercizio 5 . . . . .	vii
<b>2</b>	<b>Formulario II</b>	<b>ix</b>
2.1	Esercizio 1 . . . . .	ix
2.2	Esercizio 2 . . . . .	xiii
2.3	Esercizio 3 . . . . .	xiv
2.4	Esercizio 4 . . . . .	xv
<b>3</b>	<b>Formulario III</b>	<b>xvii</b>
3.1	Esercizio 1 . . . . .	xvii
3.2	Esercizio 2 . . . . .	xxi
3.3	Esercizio 3 . . . . .	xxiv



# Capitolo 1

## Formulario I

### 1.1 Esercizio 1

Autocarro	m=18t	Pa=60%	Ne=120kW
-----------	-------	--------	----------

Determinare lo **sforzo di trazione** per mantenere una velocità costante di 55 Km/h su di un tronco stradale **rettilineo**, con pavimentazione **asciutta** con manto stradale con **micro e macrotessitura** ed **elementi a spigoli vivi**, ed in **salita** con la pendenza longitudinale  $i = 2\%$ . Verificare e indicare se lo **sforzo di trazione** calcolato è effettivamente **disponibile** ed **esplicabile**.

$$T = P(\mu + \mu_c \pm i \pm \frac{\beta}{g} \frac{dv}{dt}) + k \cdot S \cdot V^2 \quad (1.1)$$

Dato che la strada in esame è in rettilineo,  $\mu_c=0$ . Inoltre, a velocità costante possiamo trascurare la componente di accelerazione  $\frac{dv}{dt}$ , e infine,  $i$  avrà segno positivo perché in salita. L'equazione diventa:

$$T = P(\mu + i) + k \cdot S \cdot V^2 \quad (1.2)$$

$\mu$	= 0,025. Valore dalla tabella 1 per V=20km/h (Dato che 55 è più vicino a 20 che a 100)
P	= $m \cdot g = 18000\text{kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 = 176580\text{N}$
k	= 0,025. Valore dalla tabella 1 per autocarri e autobus
S	= 3,0. Valore dalla tabella 1 per autocarri e autobus

$$T = 176580(0,025 + 0,020) + 0,025 \cdot 3,0 \cdot 55^2 = 8172,98\text{N} \quad (1.3)$$

Per verificare se lo sforzo di trazione sia esplicabile, poniamo  $T \leq T_{esp}$  e cioè  $T \leq Pa \cdot Fa$ . Invece, per quanto riguarda la trazione disponibile, si pone come verifica  $T \leq T_{dsp} = T \leq \frac{N_e \cdot 3,6}{V}$

Pa	= 60%P = 0,60 · P = 105948N
Fa	= 0,45. Valore dalla tabella 4, curva 5, a velocità di 55km/h

$$T_{esp} = f_a \cdot P_a = 0,45 \cdot 105948\text{N} = 47676,60\text{N} \quad (1.4)$$

$$T_{disp} = \frac{N_e \cdot 3,6}{V} = \frac{120\text{kW} \cdot 3,6}{55\text{km/h}} = 7,85\text{kN} = 7850\text{N} \quad (1.5)$$

$$T \leq T_{esp} \quad \bullet \text{ Soddisfatto} \quad T \leq T_{dsp} \quad \circ \text{ Non Soddisfatto} \quad (1.6)$$



## 1.2 Esercizio 2

Autovettura	m=1,9t	Pa=75%	Ne=70kW%
-------------	--------	--------	----------

Determinare lo sforzo di trazione necessario all'avviamento su di un tronco stradale **rettilineo**, con pavimentazione **bagnata** in **conglomerato bituminoso**, in **salita** con la pendenza longitudinale  $i = 3,5\%$ , e con un'accelerazione confortevole  $a = dv/dt = 0,25 \text{ m/s}^2$ . Verificare e indicare se lo sforzo di trazione calcolato è effettivamente **disponibile ed esplicabile**.

$$T = P(\mu + \mu_c \pm i \pm \frac{\beta}{g} \frac{dv}{dt}) + k \cdot S \cdot V^2 \quad (1.7)$$

La componente  $\mu_c$  si trascura sempre nel caso delle autovetture. In avviamento, tralasciamo la parte relativa a  $kSV^2$  e poniamo  $V = 5 \text{ km/h}$ .

P	= $m \cdot g = 1900 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 18639 \text{ N}$
$\beta$	= 1,05. Valore fissato
$\mu$	= 0,020. Valore dalla tabella 1 preso per autovetture a 20 km/h

$$T = P(\mu + i + \frac{\beta}{g} \frac{dv}{dt}) \quad (1.8)$$

$$T = 18639 \text{ N} (0,020 + 0,035 + \frac{1,05}{9,81 \text{ m/s}^2} \cdot 0,25 \text{ m/s}^2) = 1523,90 \text{ N} \quad (1.9)$$

Pa	$= 75\%P = 0,75 \cdot P = 13979,25N$
Fa	$= 0,50$ . Valore dalla tabella 4 in condizione di asciutto

$$T_{esp} = f_a \cdot P_a = 0,50 \cdot 13979,25N = 6989,63N \quad (1.10)$$

$$T_{disp} = \frac{N_e \cdot 3,6}{V} = \frac{70kW \cdot 3,6}{5km/h} = 50,4kN = 50400N \quad (1.11)$$

$$T \leq T_{esp} \quad \bullet \text{ Soddisfatto} \quad T \leq T_{disp} \quad \bullet \text{ Soddisfatto} \quad (1.12)$$

### 1.3 Esercizio 3

Autovettura	m=1,9t	Pa=80%	Ne=50kW%
-------------	--------	--------	----------

Determinare la massima pendenza possibile di una strada tale che sia garantito l'avviamento in salita su un tronco stradale rettilineo con pavimentazione asciutta in conglomerato bituminoso. Si consideri un'accelerazione confortevole  $a = dv/dt = 0,30 \text{ m/s}^2$ .

$$T = P(\mu + i + \frac{\beta}{g} \frac{dv}{dt}) \quad (1.13)$$

$$\frac{T}{P} = \mu + i + \frac{\beta}{g} \frac{dv}{dt} \quad (1.14)$$

$$\frac{T}{P} - \mu - \frac{\beta}{g} \frac{dv}{dt} = i \quad (1.15)$$

P	$= m \cdot g = 1900 \text{kg} \cdot 9,81 \text{m/s}^2 = 18639 \text{N}$
Pa	$= 80\%P = 0,80 \cdot P = 18639,00 \text{N}$
Fa	$= 0,85$ . Valore dalla tabella 4 in condizione di asciutto
$\mu$	$= 0,02$ . Valore dalla tabella 1 preso per autovetture a 20km/h

$$T_{esp} = f_a \cdot P_a = 0,85 \cdot 18639,00 \text{N} = 12674,52 \text{N} \quad (1.16)$$

$$T_{disp} = \frac{N_e \cdot 3,6}{V} = \frac{50 \text{kW} \cdot 3,6}{5 \text{km/h}} = 36,00 \text{kN} = 36000 \text{N} \quad (1.17)$$

Prendiamo il valore più piccolo tra  $T_{esp}$  e  $T_{disp}$  ponendolo come valore della trazione nella equazione [1.15]

$$i = \frac{12674,52 \text{N}}{18639,00 \text{N}} - 0,020 - \frac{1,05}{9,81 \text{m/s}^2} \cdot 0,30 \text{m/s}^2 = 63\% \quad (1.18)$$

## 1.4 Esercizio 4

Autocarro	m=20t	Pa=60%	Ne=130kW%
-----------	-------	--------	-----------

Determinare la massima accelerazione all'avviamento su di un tronco stradale rettilineo in salita che ha la pendenza longitudinale  $i = 3\%$  su di una pavimentazione asciutta con manto stradale con solo microtessitura ed elementi a spigoli vivi.

$$T = P(\mu + i + \frac{\beta}{g} \frac{dv}{dt}) \quad (1.19)$$

$$\frac{T}{P} = \mu + i + \frac{\beta}{g} \frac{dv}{dt} \quad (1.20)$$

$$\frac{g}{\beta} (\frac{T}{P} - \mu - i) = \frac{dv}{dt} \quad (1.21)$$

P	$= m \cdot g = 20000 \text{kg} \cdot 9,81 \text{m/s}^2 = 196200 \text{N}$
Pa	$= 60\%P = 0,60 \cdot P = 117720,00 \text{N}$
Fa	$= 0,75$ . Valore dalla tabella 4 in condizione di asciutto
$\mu$	$= 0,025$ . Valore dalla tabella 1 preso per autovetture a 20km/h

$$T_{esp} = f_a \cdot P_a = 0,75 \cdot 117720,00 \text{N} = 88290,00 \text{N} \quad (1.22)$$

$$T_{disp} = \frac{N_e \cdot 3,6}{V} = \frac{130kW \cdot 3,6}{5km/h} = 93,60kN = 93600N \quad (1.23)$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{9,81m/s^2}{1,05} \left( \frac{88290,00N}{196200N} - 0,025 - 0,30 \right) = 3,7m/s^2 \quad (1.24)$$

## 1.5 Esercizio 5

Determinare le distanze di visibilità per il cambio di corsia, il sorpasso su di una strada ad unica carreggiata di **tipo C** nell'ipotesi che essa sia percorsa in **salita** da una autovettura ad una velocità  $V = 100 \text{ Km/h}$ .

A1) Determinare, altresì, la distanza di arresto nell'ipotesi che l'autovettura freni in 150m.

A2) Determinare, altresì, la distanza di arresto nell'ipotesi di pendenza longitudinale  $i = 5\%$ .

$$D_c = 2,6 \cdot V = 260m \quad (1.25)$$

$$D_a = v \cdot t_{pr} + s_f \quad (1.26)$$

$$t_{pr} = 2,8 - 0,01 \cdot V = 1,8s \quad (1.27)$$

27,8m/s perché come si vede anche nella formula, v è minuscolo.  
Quando troviamo questo tipo di notazione, la velocità è in metri al secondo.

$$D_a = 27,8m/s \cdot 1,8s + 150m = 200m \quad (1.28)$$

$$D_a = 0,78 \cdot 100 - 0,0028 \cdot 10000 + \frac{10000}{254(0,35 + 0,05)} \quad (1.29)$$

# Capitolo 2

## Formulario II

### 2.1 Esercizio 1

Autovettura	P=6,50kN	Pa=85%	Strada di tipo C1
-------------	----------	--------	-------------------

- Determinare il raggio minimo della curva circolare planimetrica per cui è garantito l'equilibrio allo sbandamento dei veicoli adottando i valori di aderenza trasversale forniti dal DM 5/11/2001;
- Determinare la velocità di percorrenza al limite dello sbandamento dell'autovettura nell'ipotesi di un valore del coefficiente di aderenza  $f_a = 0,45$  e di pendenza longitudinale  $i = 3,5\%$ ;
- Determinare l'accelerazione trasversale non compensata e compensata per i quesiti a) e b).

$$\frac{V^2}{R} = 127(q + f_t) \Rightarrow R = \frac{V^2}{127(q + f_t)} \quad (2.1)$$

Dato che ci troviamo in condizione di percorrere una strada di tipo C1, avremo come limiti inferiori e superiori rispettivamente 60 e 100km/h. In ordine per calcolare  $R_{min}$  useremo il limite inferiore di 60km/h, mentre il valore di pendenza  $q$  sarà dato da tabella nel DM.6792 a pagina 60.  $f_t$  è preso da tabella 4 a seconda di velocità e tipologia di strada.

TIPI SECONDO IL CODICE	AMBITO TERRITORIALE	DENOMINAZIONE	$V_p \text{ min}$ [km/h]	$q_{\text{max}}$	$f_{t \text{ max}}$	Raggio minimo [m]
<b>AUTOSTRADA</b> <b>A</b>	EXTRAURBANO	STRADA PRINCIPALE	90	0,07	0,118	339
		STRADA DI SERVIZIO (EVENTUALE)	40	0,07	0,210	45
	URBANO	STRADA PRINCIPALE	80	0,07	0,130	252
		STRADA DI SERVIZIO (EVENTUALE)	40	0,035	0,210	51
<b>EXTRAURBANA PRINCIPALE</b> <b>B</b>	EXTRAURBANO	STRADA PRINCIPALE	70	0,07	0,147	178
		STRADA DI SERVIZIO (EVENTUALE)	40	0,07	0,210	45
<b>EXTRAURBANA SECONDARIA</b> <b>C</b>	EXTRAURBANO		60	0,07	0,170	118
<b>URBANA DI SCORRIMENTO</b> <b>D</b>	URBANO	STRADA PRINCIPALE	50	0,05	0,205	77
		STRADA DI SERVIZIO (EVENTUALE)	25	0,035	0,220	19
<b>URBANA DI QUARTIERE</b> <b>E</b>	URBANO		40	0,035	0,210	51
<b>LOCALE</b> <b>F</b>	EXTRAURBANO		40	0,07	0,210	45
	URBANO		25	0,035	0,220	19

$$R_{min} = \frac{60^2 \text{ km}^2/\text{h}^2}{127(0,07 + 0,17)} = 118\text{m} \quad (2.2)$$

$$V^2 = 127 \cdot R(q + f_t) \Rightarrow V = \sqrt{127 \cdot R(q + f_t)} \quad (2.3)$$



Ci troviamo in questa parte di progetto a verificare la velocità di percorrenza a limite di sbandamento. Ciò significa che ci troviamo nel caso limite in cui con tale velocità riusciamo ancora a rimanere su strada. Tale condizione viene data da  $T=A$ . Calcoleremo la velocità con la formula del raggio minimo interpolando  $F_t$  tramite trazione.

$$A = f_a \cdot P_a = \sqrt{f_l^2 + f_t^2} \cdot P_a \quad (2.4)$$

Pa	= 85%P = 0,85·P = 5525,00N
K	= 0,015. Valore dalla tabella 2 per autovetture di serie
$\mu$	= 0,025. Valore dalla tabella 1 preso per autovetture a 100km/h
S	= 1,50. Valore dalla tabella 3 per autovetture

$$T = P(\mu + i) \cdot K \cdot S \cdot V^2 \quad (2.5)$$

$$T = 6500N(0,025 + 0,035) + 0,015 \cdot 1,5m^2 \cdot 60^2 km^2/h^2 = 471N \quad (2.6)$$

Nelle componenti dell'aderenza trascuriamo quella trasversale riducendo tutto alla forza longitudinale.

$$T = A = f_l \cdot P_a \Rightarrow f_l = \frac{T}{P_a} = \frac{471N}{5525N} = 0,085 \quad (2.7)$$

$$f_t = \sqrt{f_a^2 - f_l^2} = \sqrt{0,45^2 - 0,085^2} = 0,44 \quad (2.8)$$

$$V = \sqrt{127 \cdot 118m(0,07 + 0,44)} = 87km/h \quad (2.9)$$

Ricalcoliamo T con la nuova velocità per verificare che sia corretta.

$$T = 6500N(0,025 + 0,035) + 0,015 \cdot 1,5m^2 \cdot 87^2km^2/h^2 = 560N \quad (2.10)$$

$$f_t = \frac{T}{P_a} = \frac{560N}{5525N} = 0,101 \quad (2.11)$$

$$f_t = \sqrt{f_a^2 - f_l^2} = \sqrt{0,45^2 - 0,101^2} = 0,44 \quad (2.12)$$

$$V = \sqrt{127 \cdot 118m(0,07 + 0,44)} = 87km/h \quad (2.13)$$

$$a_{nc1} = g \cdot f_t = 9,81m/s^2 \cdot 0,17 = 1,66m/s^2 \quad (2.14)$$

$$a_{nc2} = g \cdot f_t = 9,81m/s^2 \cdot 0,44 = 4,32m/s^2 \quad (2.15)$$

$$a_c = g \cdot q = 9,81m/s^2 \cdot 0,07 = 0,69m/s^2 \quad (2.16)$$

## 2.2 Esercizio 2

Autovettura	P=6,50kN	Pa=85%	Strada di tipo C1
-------------	----------	--------	-------------------

- Determinare la pendenza trasversale  $q$  di una curva di raggio  $R = 750$  m e la velocità di percorrenza  $V$  dell'autovettura secondo il DM 5/11/2001;
- Verificare se con il raggio assegnato è garantita la visibilità del ciglio interno. Si consideri per il calcolo del raggio che consente la visibilità del ciglio interno un valore di velocità pari a  $V_{p,min}$ .

$$R_{min} = \frac{60^2 km^2/h^2}{127(0,07 + 0,17)} = 118m \quad (2.17)$$

$$R_{max} = \frac{100^2 km^2/h^2}{127(0,07 + 0,11)} = 437m \quad (2.18)$$

$$R > R_{max} \Rightarrow V = V_{max} = 100km/h \quad (2.19)$$

$b$	= 1,23 da tabella 5, considerando la velocità <b>massima</b> per tipo di strada
$l_o$	= 300m preso dall'abaco in figura 1 considerando la velocità <b>minima</b> per tipo di strada
$2\phi$	= 78 gradi preso dall'abaco in figura 2 considerando la velocità <b>minima</b> per tipo di strada

$$\ln q = -0,64 \cdot \ln R + b \quad (2.20)$$

$$\ln q = -0,64 \cdot \ln 750m + 1,23 \quad (2.21)$$

$$q = e^{-3} = 0,5 = 5\% \quad (2.22)$$

$$R_o = \frac{l_o}{\sin(2\phi)} = \frac{300m}{\sin(78^\circ)} = 306m \quad (2.23)$$

$$R > R_o \Rightarrow \checkmark \quad (2.24)$$

### 2.3 Esercizio 3

Autovettura	P=6,50kN	Pa=85%	Strada di tipo C1
-------------	----------	--------	-------------------

Determinare la velocità di percorrenza  $V$  dell'autovettura e la pendenza trasversale  $q$  di una curva di raggio  $R = 185$  m secondo il DM 5/11/2001.

$$R_{min} < R < R_{max} \Rightarrow q = q_{max} = 7\% = 0,07 \quad (2.25)$$

Calcoliamo  $V$  con l'equazione a  $V_{max}$  per tipo di strada relativa a 100km/h, da risolvere come eq di secondo grado.

$$V^2(1 - R \cdot 0,0015) + V(R \cdot 0,432) - R \cdot 50,17 = 0 \quad (2.26)$$

## 2.4 Esercizio 4

Autovettura	P=6,50kN	Pa=85%	Strada di tipo C1
-------------	----------	--------	-------------------

Determinare per gli esercizi 2) e 3) nell'ipotesi di pendenza longitudinale  $i = 3.5\%$  e nell'ipotesi che osservatore ed ostacolo si trovino entrambi sulla curva circolare:

- la distanza minima  $D$  dell'asse della corsia da un ostacolo laterale, affinché sia garantita la distanza di visibilità nell'ipotesi di sorpasso e di arresto
- Il valore minimo del raggio  $R$ , affinché sia garantita la distanza di visibilità nell'ipotesi di sorpasso e di arresto.

$$D = 2\sqrt{2 \cdot R \cdot \Delta} \Rightarrow \Delta = \frac{D^2}{8 \cdot R} \quad (2.27)$$

$$D_S = 5,5 \cdot V$$

$$D_{S2} = 5,5 \cdot 100 \text{ km/h} = 550 \text{ m} \quad (2.28)$$

$$D_{S3} = 5,5 \cdot 71 \text{ km/h} = 390,5 \text{ m}$$

$$\Delta_{min,2} = \frac{550^2 \text{ m}^2}{8 \cdot 750 \text{ m}} = 50,4 \text{ m}$$

$$\Delta_{min,3} = \frac{390,5^2 \text{ m}^2}{8 \cdot 185 \text{ m}} = 103 \text{ m} \quad (2.29)$$

$$D_A = 0,78 \cdot V - 0,0028 \cdot V^2 + \frac{V^2}{254(f_e \pm i)} \quad (2.30)$$

$$D_{A2} = 0,78 \cdot 100 \text{ km/h} - 0,0028 \cdot 100^2 \text{ km}^2/\text{h}^2 + \frac{100^2 \text{ km}^2/\text{h}^2}{254(0,35 + 0,035)} = 156,26 \text{ m}$$

$$D_{A3} = 0,78 \cdot 71 \text{ km/h} - 0,0028 \cdot 71^2 \text{ km}^2/\text{h}^2 + \frac{71^2 \text{ km}^2/\text{h}^2}{254(0,40 + 0,035)} = 86,89 \text{ m} \quad (2.31)$$

$$\Delta_{min,2} = \frac{152,26^2 \text{ m}^2}{8 \cdot 750 \text{ m}} = 3,86 \text{ m}$$

$$\Delta_{min,3} = \frac{86,89^2 \text{ m}^2}{8 \cdot 185 \text{ m}} = 5,10 \text{ m} \quad (2.32)$$

Il valore di  $\Delta$  per  $R_{min}$  è dato dalla lunghezza della corsia più quello della banchina, tabellare da caratteristiche geometriche per tipo di strada

$$R_{DS2,min} = \frac{D_{S2}^2}{8 \cdot \Delta} = \frac{550^2 \text{ m}^2}{8 \cdot 3,38 \text{ m}} = 11187 \text{ m} \quad (2.33)$$

$$R_{DS3,min} = \frac{D_{S3}^2}{8 \cdot \Delta} = \frac{390,5^2 \text{ m}^2}{8 \cdot 3,38 \text{ m}} = 5639,43 \text{ m}$$

$$R_{DA2,min} = \frac{D_{A2}^2}{8 \cdot \Delta} = \frac{152,26^2 \text{ m}^2}{8 \cdot 3,38 \text{ m}} = 857,81 \text{ m} \quad (2.34)$$

$$R_{DA3,min} = \frac{D_{A3}^2}{8 \cdot \Delta} = \frac{86,89^2 \text{ m}^2}{8 \cdot 3,38 \text{ m}} = 279,27 \text{ m}$$

# Capitolo 3

## Formulario III

### 3.1 Esercizio 1

Lo scostamento  $R$  tra un rettifilo e una curva circolare di raggio  $R$  pari a 380m è 0,60m. La strada assegnata è di tipo C1 extraurbana.

- Determinare il parametro  $A$  della clotoide e verificare se tale parametro soddisfa i criteri indicati nel DM 5/11/2001;
- Determinare lo scostamento  $R$  minimo che assicuri il superamento delle verifiche indicate nel D.M. 5/11/2001 per il parametro  $A$  della clotoide. Si trascuri per il calcolo di  $R$  minimo la quantità  $1 + \frac{3}{14} \frac{\Delta R}{R}$ ;
- Determinare le coordinate del centro del cerchio, le coordinate del punto finale e il valore di  $t_c$  e rappresentare graficamente il raccordo rettifilo-clotoide-curva circolare indicando le grandezze fondamentali.

$$A = \sqrt[4]{24 \cdot R^3 \cdot \Delta R \left(1 + \frac{3}{14} \frac{\Delta R}{R}\right)} \quad (3.1)$$

$$A = \sqrt[4]{24 \cdot 380^3 m^3 \cdot 0,60m \left(1 + \frac{3}{14} \frac{0,60m}{380m}\right)} = 167,67m \quad (3.2)$$

$$A \geq A_{min,1} = 0,021 \cdot V^2 \quad (3.3)$$

$$R_{min} = \frac{60^2 km^2/h^2}{127(0,07 + 0,17)} = 118m \quad (3.4)$$

$$R_{max} = \frac{100^2 km^2/h^2}{127(0,07 + 0,11)} = 437m \quad (3.5)$$

$$R_{min} < R < R_{max} \quad (3.6)$$

Dato che il raggio non può dirci il dato della velocità, lo ricaviamo tramite equazione di secondo grado

$$V^2(1 - R \cdot 0,0015) + V(R \cdot 0,432) - R \cdot 50,17 = 0 \quad (3.7)$$

$$V^2(0,43) + V(164,16) - 19064,6 = 0 \quad (3.8)$$



$$V = \frac{-164,16 \pm \sqrt{164,16^2 - 4(0,43 \cdot -19064,6)}}{2 \cdot 0,43} = 93,32 \text{ km/h} \quad (3.9)$$

$$A \geq A_{min,1} = 0,021 \cdot V^2 = 182 \text{ m} \quad \times \quad (3.10)$$

$$A \geq A_{min,2} = \sqrt{\frac{R_f - R_i}{\Delta i_{max}} \cdot 100 \cdot B(q_f + q_i)} \quad (3.11)$$

$R_f$  è il raggio del cerchio che segue, mentre  $R_i$  è quello che precede (rettifilo = 0).  $q_f$  lo poniamo uguale a  $q_{max}$  e  $q_i$  a  $q_{min}$ . Nella formula per calcolare  $\Delta i_{max}$  il valore di B è dato dalla distanza dell'asse di rotazione e ovvero dall'asse della corsia più la banchina.

$$\Delta i_{max} = \frac{18 \cdot B_i}{V} \quad (3.12)$$

$$A \geq A_{min,2} = \sqrt{\frac{380 \text{ m}}{\frac{18 \cdot 5,25 \text{ m}}{93,32 \text{ km/h}}} \cdot 100 \cdot 5,25 \text{ m}(0,07 + 0,025)} = 136,8 \text{ m} \quad \checkmark \quad (3.13)$$

$$A \geq A_{min,3} = \frac{R}{3} \quad \checkmark \quad (3.14)$$

$$A \geq A_{min,4} = R \quad \checkmark \quad (3.15)$$

$$A = \sqrt[4]{24 \cdot 380^3 m^3 \cdot 0,60m \left(1 + \frac{3}{14} \frac{0,60m}{380m}\right)} \quad (3.16)$$

$$A^4 = 24 \cdot R^3 \cdot \Delta R \quad (3.17)$$

Utilizziamo  $A=182,88m$  perché nella verifica è stato il valore non soddisfatto. Prendendolo ora per le successive verifiche sappiamo che è il valore minimo per cui tutte e 4 le prove sono soddisfatte.

$$\Delta R = \frac{A^4}{24 \cdot R^3} = \frac{182,88^4 m^4}{24 \cdot 380^3 m^3} = 0,84m \quad (3.18)$$

$$l = \frac{L}{A} = \frac{A^2}{R \cdot A} = \frac{A}{R} = \frac{182,88m}{380m} = 0,48 \quad (3.19)$$

Con questo valore di  $l$  andiamo a prendere tutte le componenti cartesiane che ci servono per disegnare la figura dalla tabella in fondo al formulario.

$\tau_c$	$= 7,33$
$x$	$= 0,4974m \times A = 57,67m$
$y$	$= 0,0184m \times A = 3,36m$
$x_m$	$= 0,2399m \times A = 43,87m$
$y_m$	$= R + \Delta R = 380m + 0,84m = 80,84m$

## 3.2 Esercizio 2

In figura sono assegnati due elementi curvilinei circolari di raggio  $R_1 = 500m$  e  $R_2 = 350m$  distanti  $D = 10m$ . Il verso di percorrenza è indicato. La strada assegnata è di tipo F1 extraurbana.

- Determinare il parametro della clotoide di flesso e verificare se tale parametro soddisfa i criteri indicati nel DM 5/11/2001;
- Determinare le coordinate del centro dei cerchi, le coordinate dei punti iniziali e finali e i valori di  $\tau_c$ ;
- Rappresentare graficamente il raccordo curva circolare-clotoide-curva circolare indicando tutte le grandezze fondamentali.

Calcoliamo i valori relativi agli assi x e y della figura 2 del formulario.

$$\frac{R_2}{R_1} = 0,7m \quad (3.20)$$

$$\frac{D}{R_1} = 0,02m \quad (3.21)$$

Grazie ai due dati precedenti possiamo prendere il valore della prossima frazione da tabella:

$$\frac{A}{R_1} = 0,43m \quad (3.22)$$

$$A = 0,43m \cdot R_1 = 215m$$

$$R_{min} = \frac{40^2 km^2/h^2}{127(0,07 + 0,21)} = 45m \quad (3.23)$$

$$R_{max} = \frac{100^2 km^2/h^2}{127(0,07 + 0,11)} = 437m \quad (3.24)$$

$$R > R_{max} \Rightarrow V = V_{max} = 100km/h \quad (3.25)$$

$$A \geq A_{min,1} = 0,021 \cdot V^2 = 210m \quad \checkmark \quad (3.26)$$

$$A \geq A_{min,2} = \sqrt{\frac{R_f - R_i}{\Delta i_{max}} \cdot 100 \cdot B(q_f + q_i)} \quad (3.27)$$

In questo caso possiamo trascurare B e  $q_i$  la calcoliamo con l'equazione logaritmica.

$$A \geq A_{min,2} = \sqrt{\frac{500 - 350m}{18} \cdot V \cdot 100(0,064 + 0,07)} = 105,71m \quad \checkmark \quad (3.28)$$

$$A \geq A_{min,3} = \frac{R}{3} \quad \checkmark \quad (3.29)$$

$$A \geq A_{min,4} = R \quad \checkmark \quad (3.30)$$

$$A_1 = A_2 = 215m \quad (3.31)$$

$$l_1 = \frac{215m}{500m} = 0,43 \quad (3.32)$$

$$l_2 = \frac{215m}{350m} = 0,61 \quad (3.33)$$

$\tau_{c1}$	= 5,88
$x_1$	= 0,4296m×A = 92,36m
$y_1$	= 0,0132m×A = 2,84m
$x_{m1}$	= 0,2149m×A = 46,20m
$y_{m1}$	= $R + \Delta R$ = 500m+0,7095m = 500,71m

$\tau_{c2}$	= 11,84
$x_2$	= 0,6079m×A = 130,70m
$y_2$	= 0,0377m×A = 8,11m
$x_{m2}$	= 0,3046m×A = 65,49m
$y_{m2}$	= $R + \Delta R$ = 350m+2,021m = 352,02m

$$\varepsilon = \arctan\left(\frac{x_{m1} + x_{m2}}{y_{m1} + y_{m2}}\right) = 7,46^\circ \quad (3.34)$$

### 3.3 Esercizio 3

Sono assegnate due livellette, la prima con pendenza  $i_1 = -4,5\%$  e la seconda con pendenza  $i_2 = +3,5\%$ . L'elemento che sottende il raccordo è una curva circolare di raggio  $R = 590\text{m}$ . La strada assegnata è di tipo B extraurbana principale.

- Determinare il raggio e la lunghezza del raccordo verticale secondo i criteri indicati nel DM 5/11/2001. Si effettui il calcolo per  $D = D_a$ ;
- Determinare le coordinate del vertice, del punto a tangenza orizzontale e il valore della freccia;
- Rappresentare graficamente il raccordo verticale indicando tutte le grandezze fondamentali

Dato che abbiamo prima una discesa e poi una salita ( $i_1 = -, i_2 = +$ ), la curva che si andrà a formare sarà concava.

$$\Delta i = i_2 - i_1 = 3,5\% - (-4,5\%) = 8,0\% = 0,08 \quad (3.35)$$

$$R_{min} = \frac{70^2 \text{ km}^2/\text{h}^2}{127(0,07 + 0,15)} = 175\text{m} \quad (3.36)$$

$$R_{max} = \frac{120^2 km^2/h^2}{127(0,07 + 0,10)} = 667m \quad (3.37)$$

$$R_{min} < R < R_{max} \quad (3.38)$$

$$V^2(1 - R \cdot 0,0015) + V(R \cdot 0,432) - R \cdot 50,17 = 0 \Rightarrow V = 110km/h \quad (3.39)$$

Entriamo nell'abaco di figura 1 con pendenza longitudinale e velocità e ricaviamo la distanza di arresto. Con questa distanza poi vediamo in che zona degli abachi in figura 3 o 4 ci troviamo ( $D > L$  o  $D < L$ ). In questo caso  $D_a = 170m$  e ci troviamo nella situazione di  $D < L$ .

$$L = \frac{\Delta i \cdot D_a^2}{2(h + D_a \cdot \vartheta)} \quad (3.40)$$

$h$  è fissato a  $0,5m$  mentre  $\vartheta$  a  $1$  grado e ovvero  $0,017$  radianti.

$$L = \frac{0,08 \cdot 170^2 m^2}{2(0,5m + 170m \cdot 0,017)} = 341m \quad (3.41)$$

$$L = \frac{D_a^2}{2(h + D_a \cdot \vartheta)} = 4262,5m \quad (3.42)$$

$x_v$	$= \frac{L}{2} = 170,5\text{m}$
$x_a$	$= -\frac{i_1}{\Delta i} \cdot L = 191,81\text{m}$
$y_v$	$= \frac{L \cdot i}{2} = -7,67\text{m}$
$y_a$	$= -\frac{i_1^2}{2\Delta i} \cdot L = -4,32\text{m}$
$f$	$= \left  \frac{\Delta i}{2L} \right  \left( \frac{L}{2} \right)^2 = 3,41\text{m}$
$y_f$	$= y_v - f = -4,26\text{m}$