



Università degli Studi di Trieste

Dipartimento di Ingegneria e Architettura

Laurea Magistrale: Ingegneria Civile

Corso : Principi di Infrastrutture Viarie (cod. 239MI)

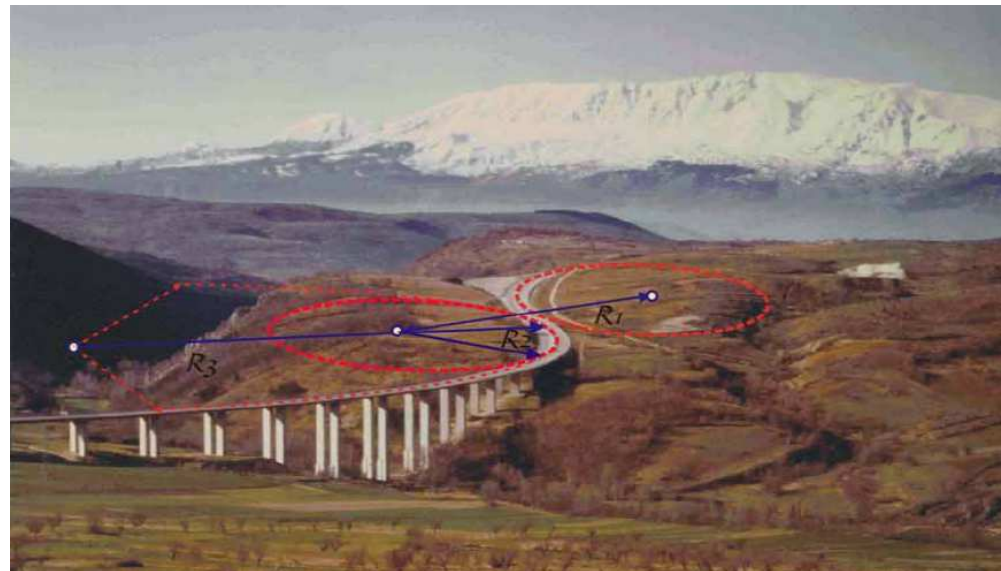
Lezione 07: La composizione dell'asse planimetrico

Roberto Roberti

Tel.: 040/558.3588

E-mail: roberto.roberti@dia.units.it

Anno accademico 2016/2017



Sommario

LE VELOCITÀ DI PROGETTO NELLA PROGETTAZIONE STRADALE
CONGRUENZA DI UN TRACCIATO STRADALE
CRITERI COMPOSITIVI DELL'ASSE STRADALE
IL DIAGRAMMA DELLE VELOCITÀ

Definizioni di velocità

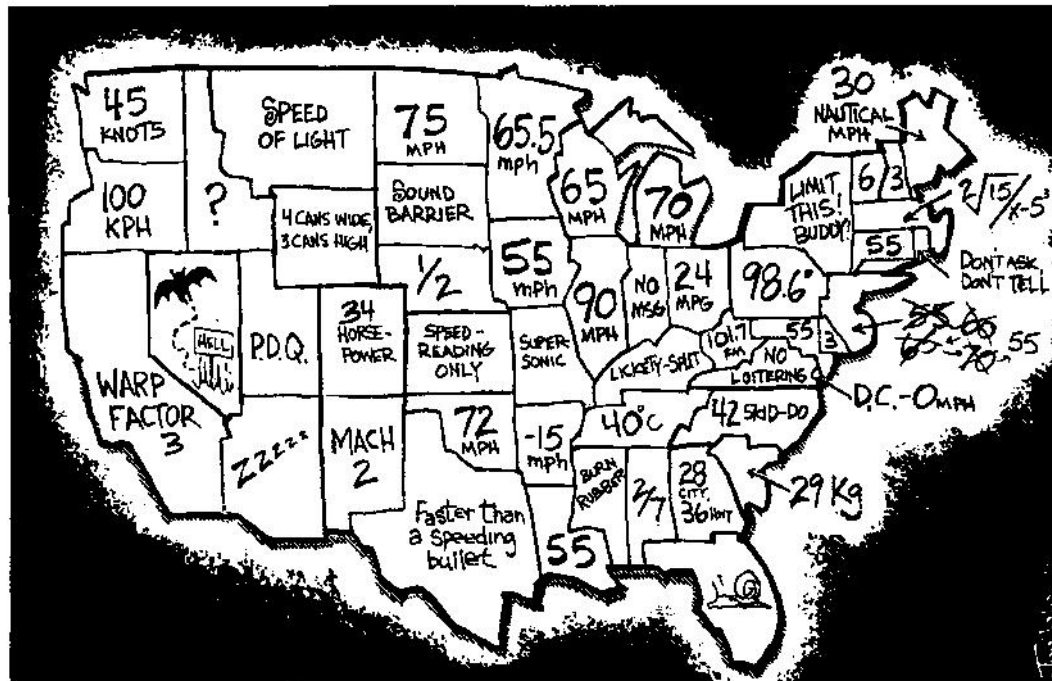
- $V_{imp.}$ [km/h]: VELOCITÀ IMPOSTA;
è la velocità definita dai limiti, generali o locali, imposti per il tipo di strada o per il sito.
- V_p [km/h]: VELOCITÀ DI PROGETTO;
è la velocità correlata alla funzione della strada e alla qualità desiderata del traffico, dipende da fattori economici ed ambientali.
- V_{85} [km/h]: VELOCITÀ OPERATIVA (85%-ile delle velocità);
è la velocità sotto la quale viaggiano l'85 % delle automobili in condizioni di flusso libero.

Per una buona progettazione:

$$V_{85} \leq V_{imp.} \leq V_p$$

Velocità imposta (1)

Il **LIMITE GENERALE** di velocità è applicato su scala nazionale, è un atto legislativo, dipende dal tipo di strada (caratteristiche generali e contesto) e dal tipo di veicolo (art 142, 1° CdS).



When Congress allows States to set their own Speed Limits

(Fonte: Green Bay Press-Gazette, Joe Heller)

Velocità imposta (2)



Il **LIMITE LOCALE** di velocità è applicato su una particolare tronco stradale, è un atto amministrativo (art. 142, 2° CdS) ed “è” definito da uno studio ingegneristico, dipende dalle caratteristiche intrinseche della strada, dalla velocità degli utenti, dal traffico e dall’incidentalità.

Nello stesso art. 142, 2° del CdS si indica che: “... Gli Enti proprietari della strada hanno l’obbligo di adeguare tempestivamente i limiti di velocità al venir meno delle cause che hanno indotto a disporre dei limiti particolari ...”.

Nell’art. 141 (1° - 2° - 3° - 4°) del CdS si pongono dei limiti locali senza indicarne il valore: “... il conducente deve regolare la velocità nei tratti di strada a visibilità limitata, nelle curve, ...”

Velocità di progetto

Con la VELOCITÀ DI PROGETTO (V_p) si definiscono i valori limite degli elementi geometrici all'interno di un tronco stradale:

- Dimensione delle corsie e delle banchine;
- Lunghezza dei rettilinei;
- Raggio minimo (R_{min}) delle curve orizzontali;
- Sopraelevazione trasversale (q);
- Distanza di visibilità per l'arresto (SSD);
- Lunghezza delle clotoidi;
- Distanza di visibilità per il sorpasso (PSD);
- Pendenze longitudinali massime;
- Raccordi verticali.

La V_p dovrebbe essere il più possibile costante su un ampio tratto di strada, per questioni di sicurezza, traffico e topografia. La V_p si utilizza nelle verifiche di congruenza del tracciato (accettabilità o meno di una successione di elementi geometrici nel tracciato).

Intervallo di velocità

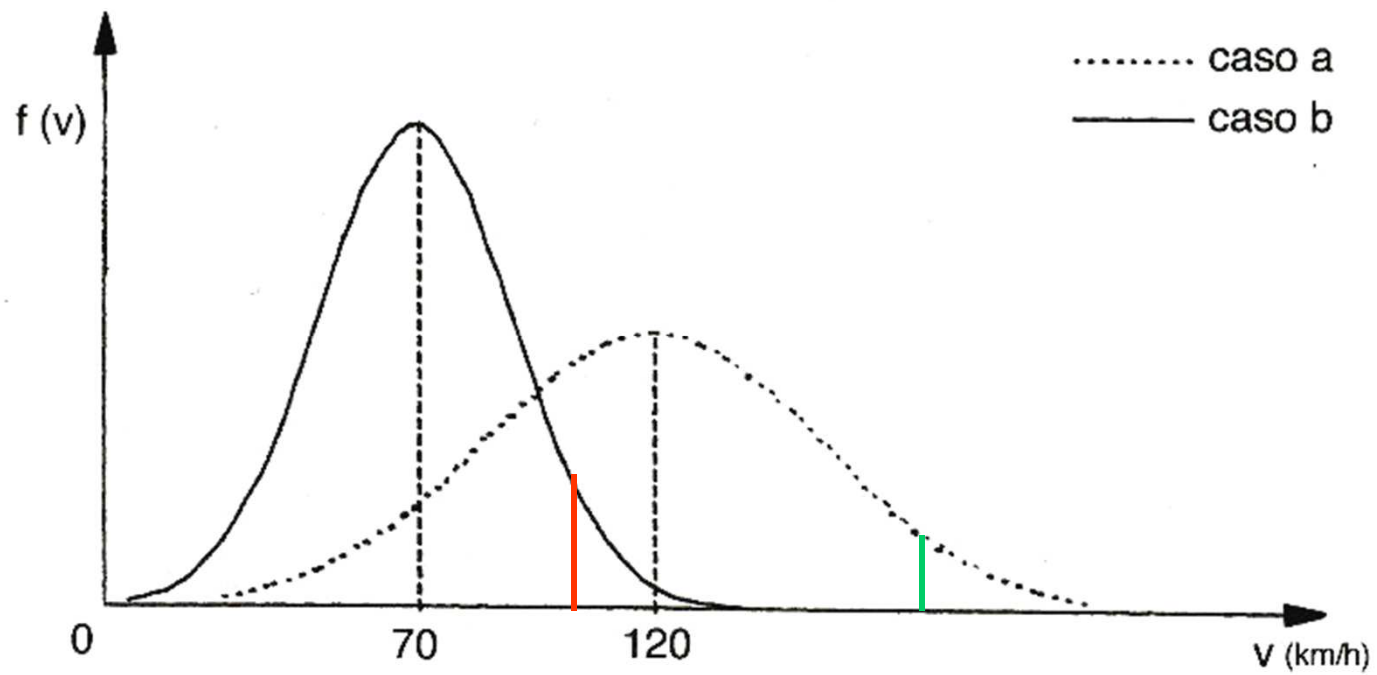
Con il termine "intervallo di velocità di progetto" si intende il campo dei valori in base ai quali devono essere definite le caratteristiche dei vari elementi di tracciato della strada (rettifili, curve circolari, curve a raggio variabile).

Il limite superiore dell'intervallo è la velocità di riferimento per la progettazione degli elementi meno vincolanti del tracciato, date le caratteristiche di sezione della strada. Essa è comunque almeno pari alla velocità massima di utenza consentita dal "Codice della strada" per i diversi tipi di strada (limiti generali di velocità).

Il limite inferiore dell'intervallo è la velocità di riferimento per la progettazione degli elementi plano-altimetrici più vincolanti per una strada di assegnata sezione

Tipo di strada	Velocità di progetto [km/h]
A - Autostrada extraurbana	90 - 140
A - Eventuale strada di servizio	60 - 100
A - Autostrada urbana	80 - 140
A - Eventuale strada di servizio	40 - 60
B - Strada extraurbana principale	60 - 120
B - Eventuale strada di servizio	60 - 100
C - Strada extraurbana secondaria	60 - 100
D - Strada urbana di scorrimento	50 - 80
D - Eventuale strada di servizio	40 - 60
E - Strada urbana di quartiere	40 - 60
F - Strada extraurbana locale	40 - 100
F - Strada urbana locale	25 - 60

Velocità operativa (1)



Velocità operativa (2)

Diversi studi hanno messo in evidenza che la V_{85} è funzione delle caratteristiche geometriche, locali e generali, della strada e dell' ambiente attraversato.

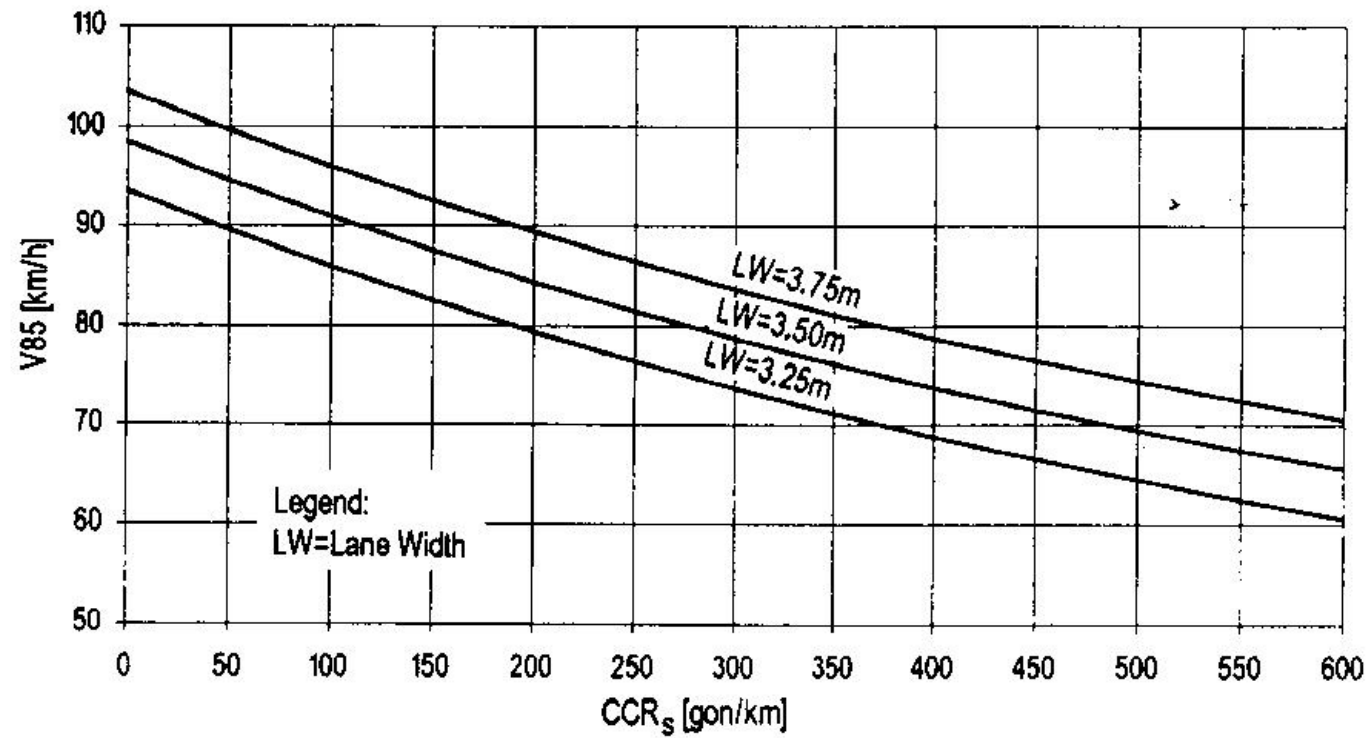
VARIABILI LEGATE ALLA CURVATURA DEL SINGOLO ELEMENTO

- R = raggio di curva [m]
- $1/R$ = curvatura [1/m]
- $DC = 360^\circ / (2 \pi R) =$ grado di curvatura [gradi/m]
- CCR_s = rateo di curvatura della singola curva (Curvature Change Rate);

VARIABILI LEGATE ALLE CARATTERISTICHE GENERALI DELLA STRADA

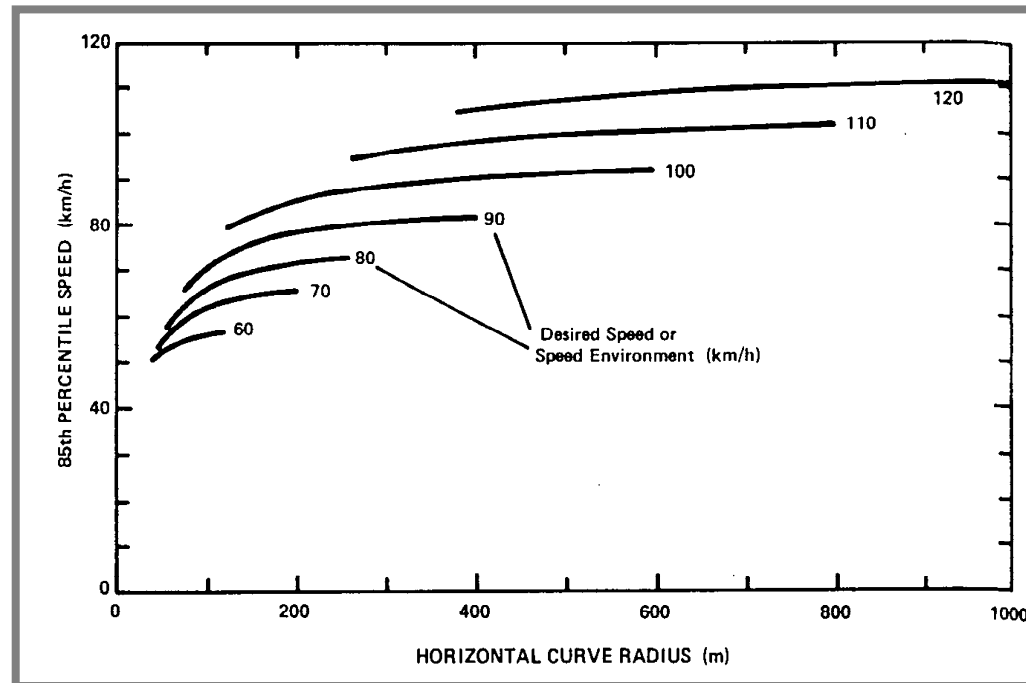
- CCR = rateo di curvatura medio [gon/km] di un tronco stradale
- Velocità Ambientale o velocità desiderata
- Dimensione delle corsie

Relazione tra V85 e CCR_s

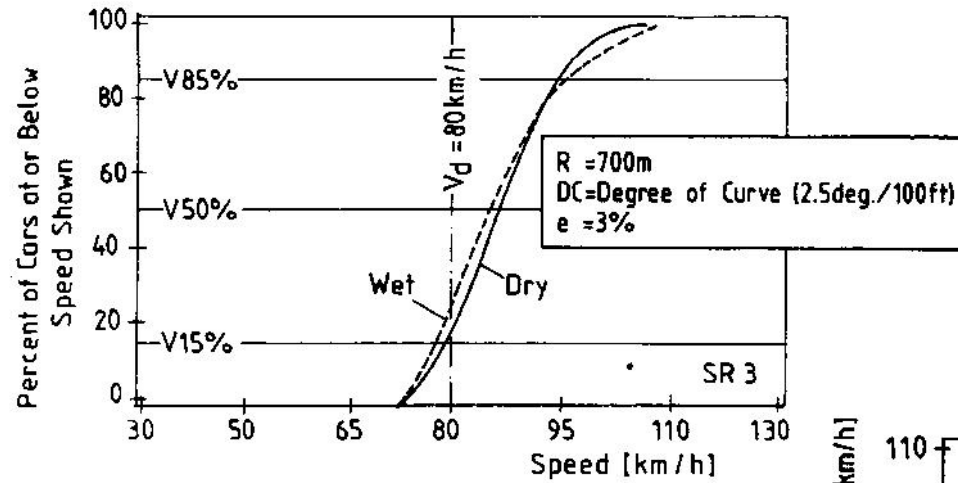


Relazione tra V85 e velocità ambientale

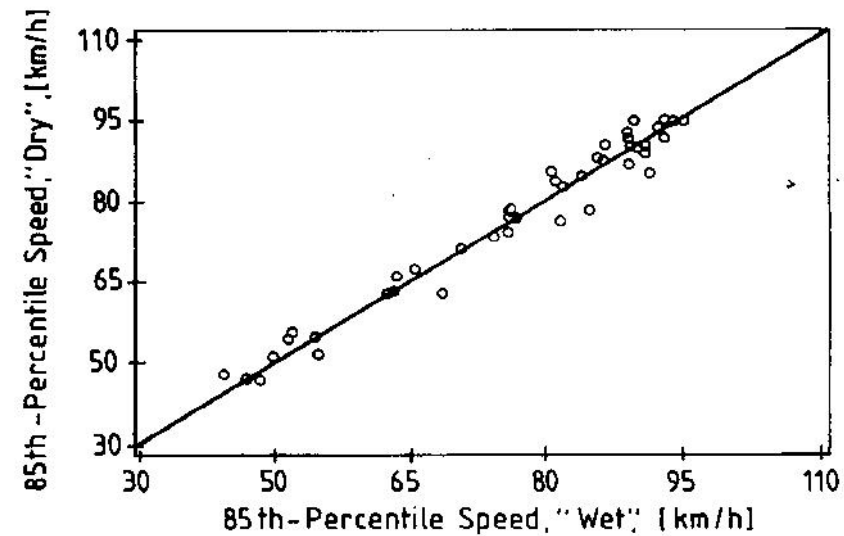
La velocità ambientale dipende dalle caratteristiche generali del tracciato (curvatura media, ambiente) ed è quella velocità a cui l'utente tende spontaneamente su un determinato tratto di strada.



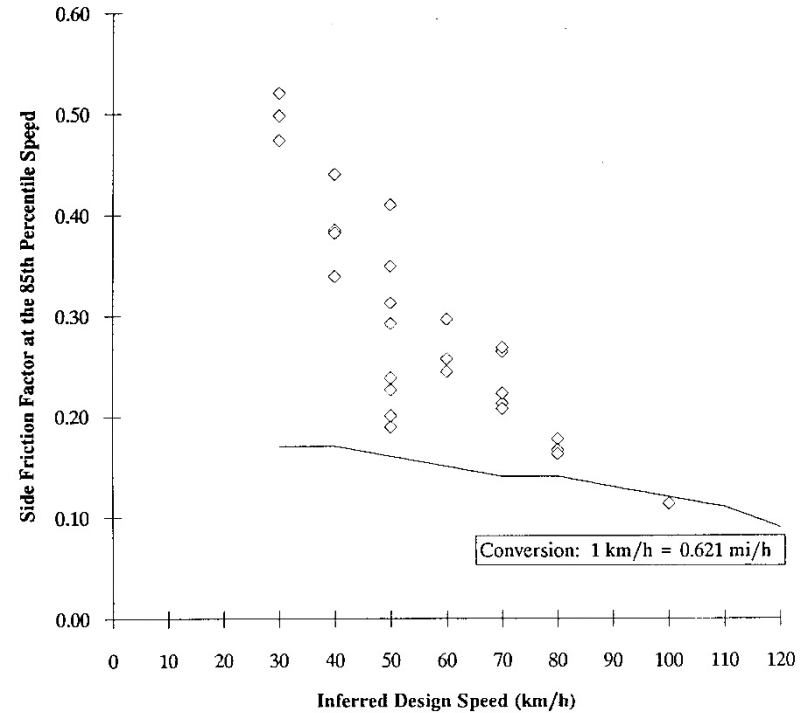
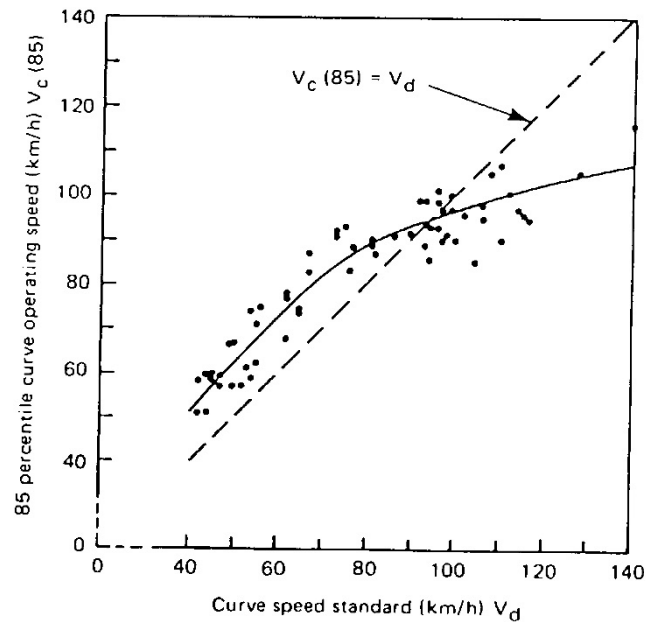
V85 e condizioni atmosferiche



In presenza di pioggia le V85 non risultano essere molto diverse da quelle rilevate su strade asciutte, purché la visibilità sia superiore a 150 metri circa



Confronto tra V85 e Vp



◇ Side-Friction Factor at the 85th ——— Maximum Side-Friction Factors⁽¹⁾

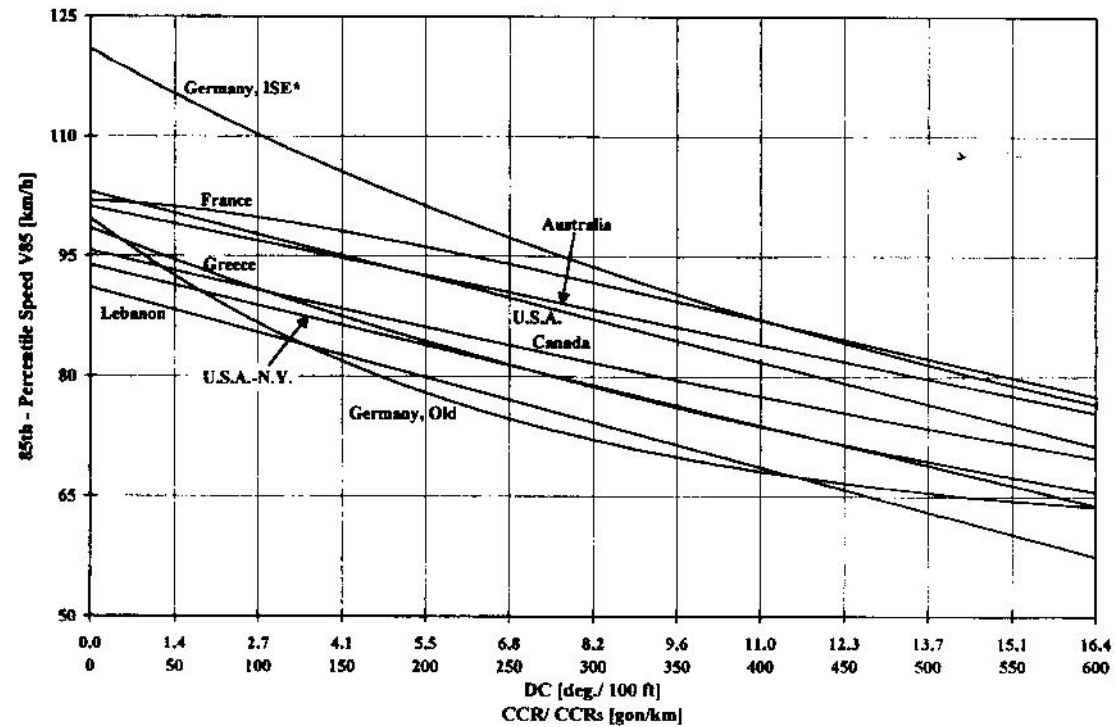
L'impiego della sola V_p non è in grado di garantire la sicurezza; la V_d dovrebbe identificare il tipo di strada (tutti gli elementi geometrici dovrebbero appartenere ad una classe), mentre con la V_{85} si dovrebbero progettare i singoli elementi e valutare la sicurezza.

Modelli per la determinazione della V85

La V85 si può valutare su un tronco stradale, oppure sui singoli elementi geometrici.

Gli elementi geometrici su cui si dovrebbero valutare le V85 sono:

- Curve;
- Rettilinei;
- Zone di transizione.



Modelli V85 per le curve (1)

Si sono seguite due metodologie:

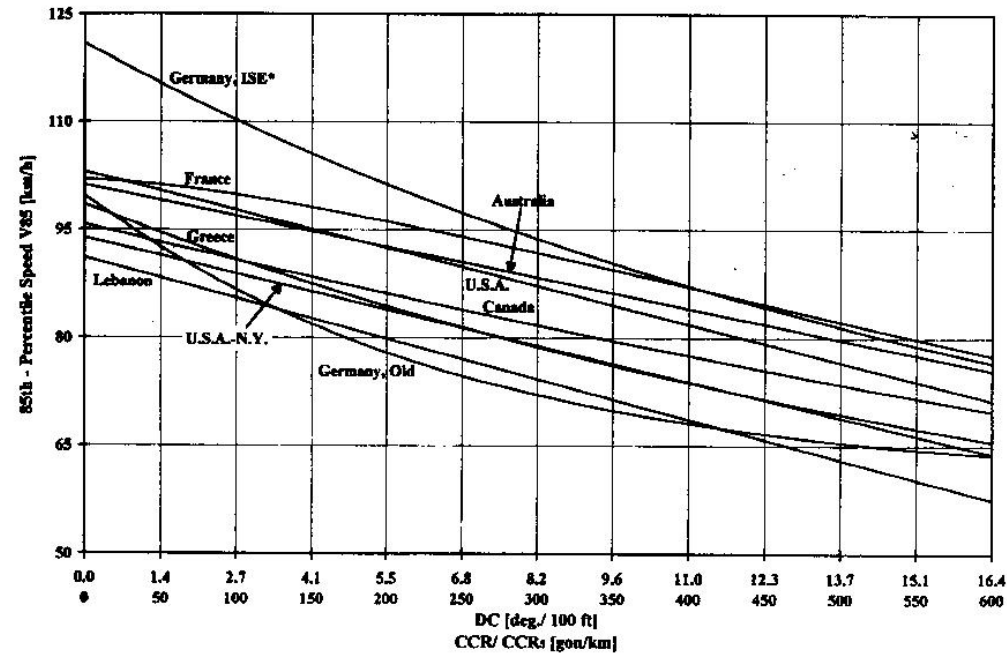
- V85 funzione delle caratteristiche della singola curva (raggio, pendenze, sezione);
- V85 funzione delle caratteristiche della singola curva e di quelle del tracciato.

Sulla base di rilievi sperimentali si eseguono delle regressioni in cui la variabile dipendente è la V85 mentre le variabili indipendenti sono costituite dalle caratteristiche della strada.

Per ogni tipologia di strada deve essere eseguito uno studio diverso.

Tipo modello	Caratteristiche	Tipo Espressione
Lineare	locali	$V_{85} = \beta_0 + \beta_1 \cdot DC$
Esponenziale	locali	$V_{85} = \beta_0 + \beta_1 \cdot e^{(\beta_2 \cdot DC)}$
Inversa	locali	$V_{85} = \beta_0 / (\beta_1 + \beta_2 \cdot DC)$
Polinomiale	locali e generali	$V_{85} = \beta_0 + \beta_1 \cdot DC + \beta_2 \cdot DC^2 + \beta_3 \cdot V_f$

Modelli V85 per le curve (2)



$$\text{Germany ISE} \quad V_{85} = \frac{10^6}{8270 + 8,01 \times CCR_s}$$

$$\text{Greece} \quad V_{85} = \frac{10^6}{101501 + 8,529 \times CCR_s}$$

$$\text{USA - N.Y.} \quad V_{85} = 93,85 - 1,82 DC = 93,85 - 0,05 CCR_s$$

$$\text{Germany old} \quad V_{85} = 60 + 39,70 \times e^{(-3,98 \times 10^{-3} \times CCR_s)}$$

$$\text{USA} \quad V_{85} = 103,04 - 1,94 DC = 103,04 - 0,053 CCR_s$$

$$\text{France} \quad V_{85} = \frac{102}{1 + 346 \times \left(\frac{CCR_s}{63.700}\right)^{1,5}}$$

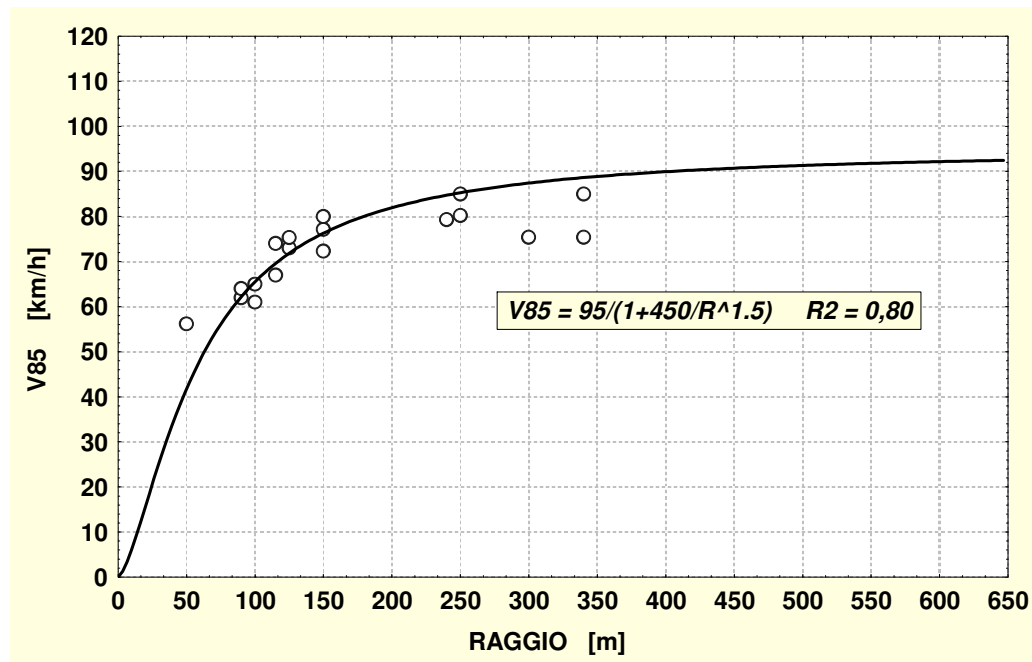
$$\text{Australia} \quad V_{85} = 101,2 - 1,56 \times DC = 101,2 - 0,043 \times CCR_s$$

$$\text{Lebanon} \quad V_{85} = 91,03 - 2,06 \times DC = 91,03 - 0,056 \times CCR_s$$

$$\text{Canada} \quad V_{85} = e^{(4,561 - 5,86^{-3} \times DC)}$$

Norma italiana e modello MOST (2001)

La normativa italiana non prevede le velocità operative, effettua le verifiche di sicurezza e di congruenza attraverso la velocità di progetto



$$V_{85} = -16,9 + 25,07 \cdot \text{Log}(L) + 0,59 \cdot V_{85,cp}$$

Rettifili indipendenti

$$V_{85} = 34,4 + 0,032 \cdot L + 0,56 \cdot V_{85,cp}$$

Rettifili dipendenti

Definizione di congruenza

DEFINIZIONE: La Congruenza è l'attitudine di un tracciato stradale a soddisfare le aspettative dell'utente.

Ci sono due modi di valutare la congruenza uno diretto attraverso il Workload, ed un altro indiretto attraverso le velocità praticate dall'utente.

L'utente stradale si comporta sulla base delle precedenti esperienze e quindi sceglie la propria velocità in base al rischio da lui percepito in funzione del tracciato.

L'utente sceglie la velocità bilanciando due necessità: quella di mantenere la velocità desiderabile, funzione delle caratteristiche generali del tracciato e del contesto, e quello di garantirsi la sicurezza.

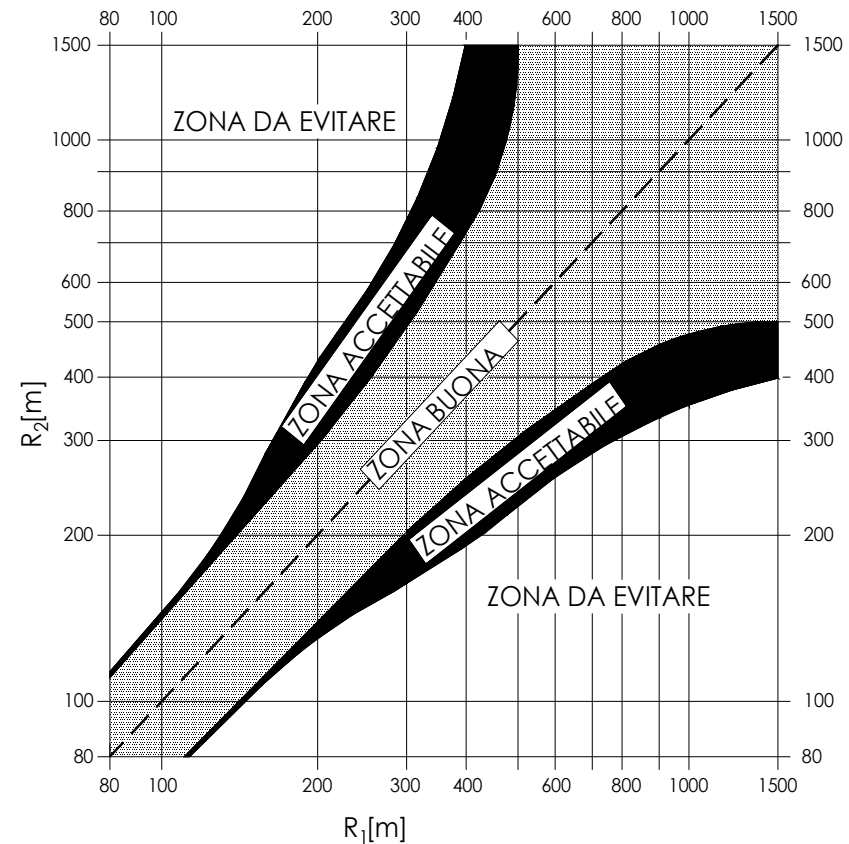
Criteri di composizione dell'asse

I rapporti tra i raggi R_1 e R_2 di due curve circolari che, con l'inserimento di un elemento a curvatura variabile, si succedono lungo il tracciato di strade di tipo A, B, C, D e F extraurbane, sono regolati dall'abaco riportato nella figura. In particolare, per le strade di tipo A e B detto rapporto deve collocarsi nella "zona buona"; per le strade degli altri tipi è utilizzabile pure la "zona accettabile".

Tra un rettilo di lunghezza L_r ed il raggio più piccolo fra quelli delle due curve collegate al rettilo stesso, anche con l'interposizione di una curva a raggio variabile, deve essere rispettata la relazione:

$$R > L_R \quad \text{per } L_R < 300 \text{ m}$$

$$R \geq 400 \text{ m} \quad \text{per } L_R \geq 300 \text{ m}$$



Criterio di congruenza

- **Caso 1: progetto buono**

$$|V_{85,i} - V_{85,i+1}| \leq 10 \text{ km/h}$$

Non sono necessarie correzioni al tracciato.

- **Caso 2: progetto tollerabile**

$$10 \text{ km/h} < |V_{85,i} - V_{85,i+1}| \leq 20 \text{ km/h}$$

Necessità di limiti di velocità e dispositivi di controllo del traffico.

- **Caso 3: progetto inadeguato**

$$20 \text{ km/h} < |V_{85,i} - V_{85,i+1}|$$

Si raccomanda di modificare la linea d'asse, necessità legata all'incidentalità.

Si devono distinguere tra rettilinei indipendenti per i quali la V85 va calcolata imponendo $CCR_S = 0$, dai rettilinei dipendenti che invece vanno trascurati nella verifica di congruenza.

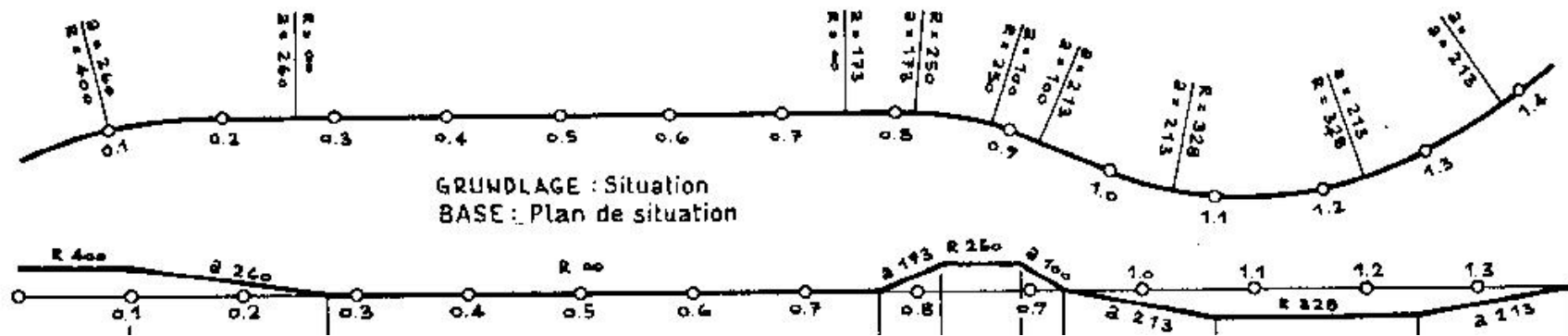
Il diagramma di velocità

Il diagramma delle velocità è la rappresentazione grafica dell'andamento della velocità di progetto in funzione della progressiva dell'asse stradale. Si costruisce, per ogni senso di circolazione, sulla base del solo tracciato planimetrico, calcolando per ogni elemento di esso l'andamento della velocità di progetto, che deve essere contenuta nei limiti di cui sopra.

IPOTESI:

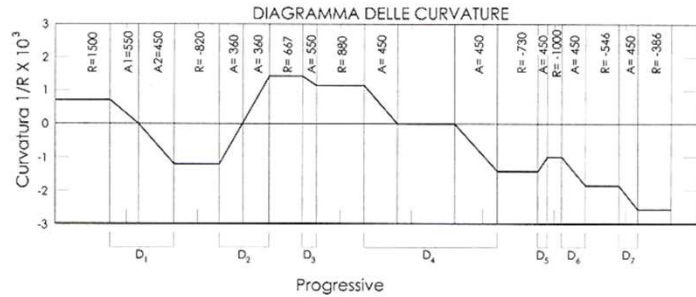
- **in rettilineo, sugli archi di cerchio con raggio non inferiore a $R_{2,5}$, e nelle clotoidi, la velocità di progetto tende al limite superiore dell'intervallo (V_{pmax}); gli spazi di accelerazione conseguenti all'uscita da una curva circolare, e quelli di decelerazione per l'ingresso a detta curva, ricadono soltanto negli elementi considerati (rettilineo, curve ampie con $R > R_{2,5}$ e clotoidi);**
- **la velocità è costante lungo tutto lo sviluppo delle curve con raggio inferiore a $R_{2,5}$, e si determina dagli abachi per il calcolo della sopraelevazione (pag. 16, 17 delle diapositive);**
- **i valori dell'accelerazione e della decelerazione restano determinati in $a = 0.8 \text{ m/s}^2$;**
- **si assume che le pendenze longitudinali non influenzino la velocità di progetto.**

Il diagramma delle curvature

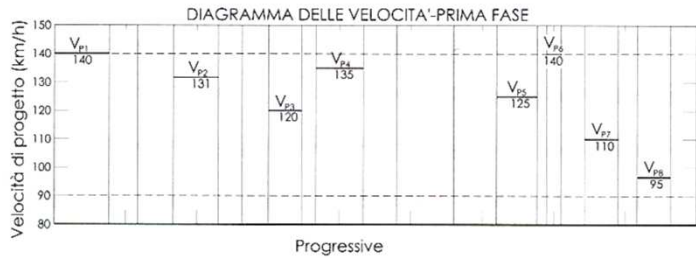


$$\text{Curvatura} = 1/R$$

Costruzione del diagramma di velocità



$$D_T = \frac{V_{p,1}^2 - V_{p,2}^2}{3,6^2 \cdot 2 \cdot a} = \frac{\Delta V \times V_m}{12,96 \cdot a}$$

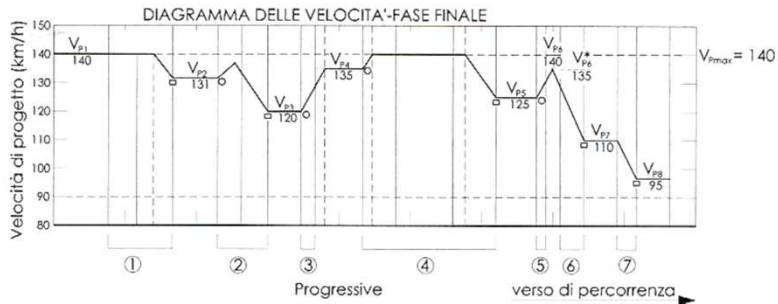


D_T distanza di transizione

D_r = distanza di riconoscimento

D_v = Distanza di visuale libera

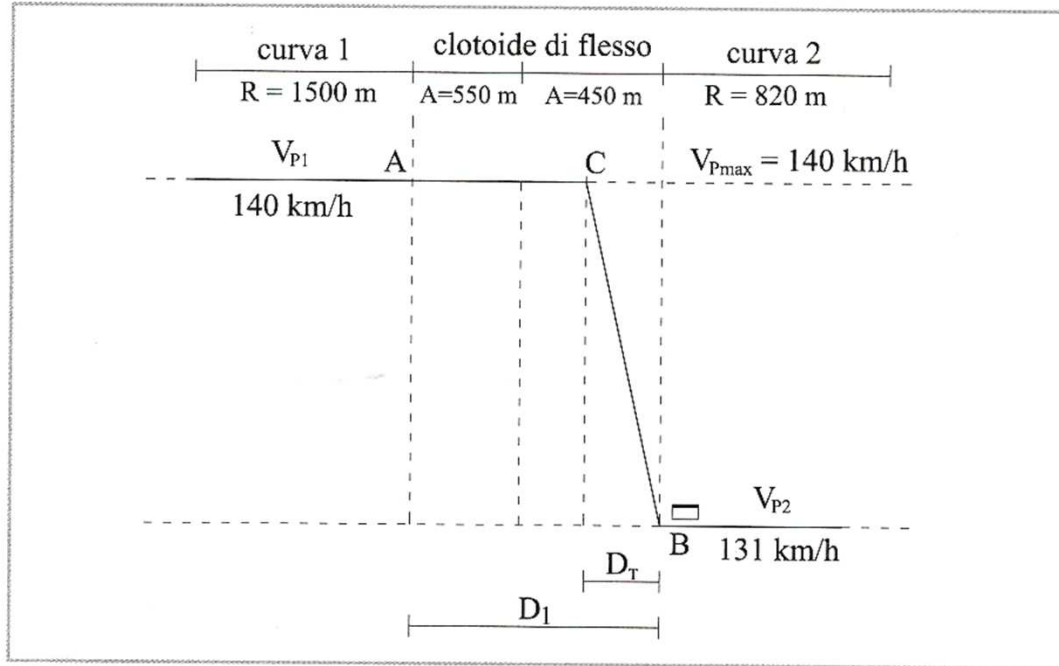
$D_T \leq D_r = t * v_p$ con v_p velocità in m/s e $t = 12$ s



$D_T \leq D_v$

①	$V_{pmax} = V_{p1} > V_{p2}$	$D_1 > D_T$	D_1 lunghezza di transizione per decelerare da V_{p1} a V_{p2}	$V_{p1} - V_{p2} \leq 10$ accett.
②	$V_{pmax} > V_{p2} > V_{p3}$	$D_2 > D_T$	D_2 lunghezza di transizione per decelerare da V_{p2} a V_{p3}	$V_{p2} - V_{p3} \leq 20$ accett.
③	$V_{p3} < V_{p4} < V_{pmax}$	$D_3 < D_T$	D_3 lunghezza di transizione per accelerare da V_{p3} a V_{p4}	$V_{p4} - V_{p3} \leq 20$ accett.
④	$V_{pmax} > V_{p4} > V_{p5}$	$D_4 > (D_{T4} + D_{T5})$	D_{T4} lunghezza di transizione per accelerare da V_{p4} a V_{pmax} D_{T5} lunghezza di transizione per decelerare da V_{pmax} a V_{p5}	$V_{p4} - V_{p5} \leq 20$ accett. $V_{pmax} - V_{p5} > 10$ non acc.
⑤	$V_{p5} < V_{p6}^* < V_{pmax}$	$D_5 < D_T$	D_5 lunghezza di transizione per accelerare da V_{p5} a V_{pmax}	$V_{p6}^* - V_{p5} \leq 20$ accett.
⑥	$V_{pmax} > V_{p6}^* > V_{p7}$	$D_6 < D_T$	D_6 lunghezza di transizione per decelerare da V_{pmax} a V_{p7}	$V_{p6}^* - V_{p7} > 20$ non acc.
⑦	$V_{pmax} > V_{p7} > V_{p8}$	$D_7 = D_T$	D_7 lunghezza di transizione per decelerare da V_{p7} a V_{p8}	$V_{p7} - V_{p8} \leq 20$ accett.

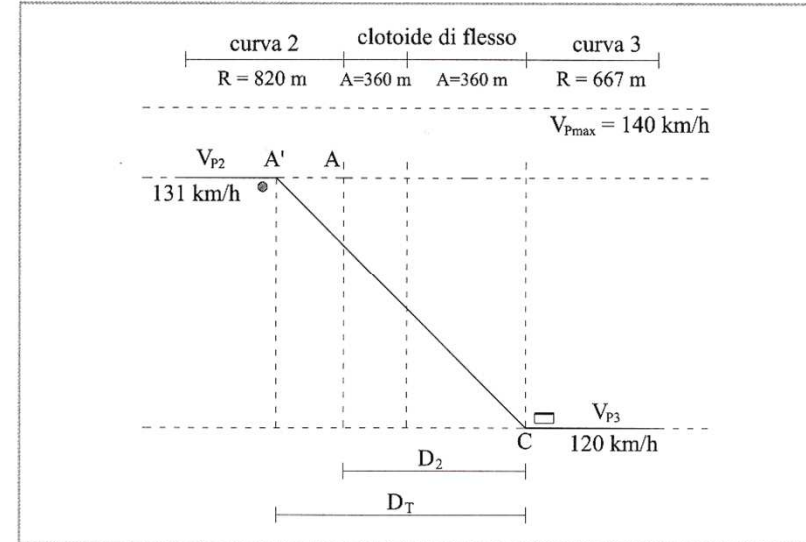
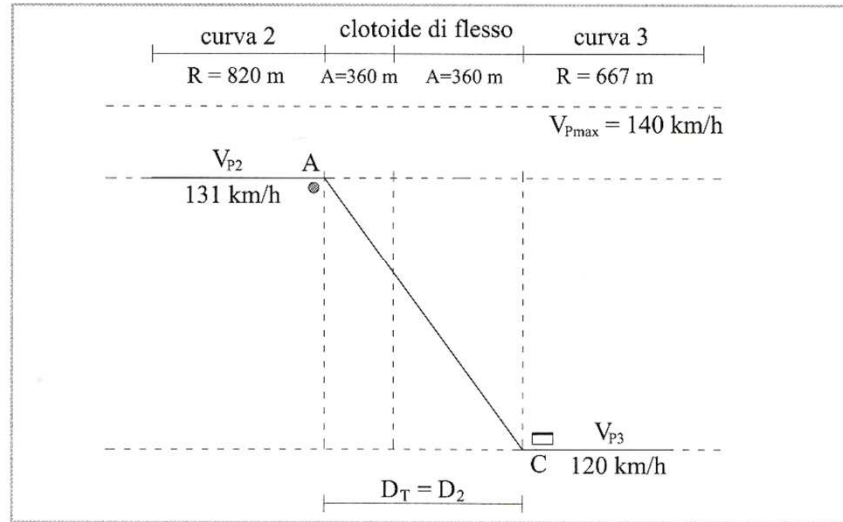
Analisi dei casi possibili (1)



$$D_{T1} = \frac{V_{p,1}^2 - V_{p,2}^2}{3,6^2 \cdot 2 \cdot a} = \frac{140^2 - 131^2}{3,6^2 \cdot 2 \cdot 0,8} = 117,62 \quad [\text{m}]$$

$$D_1 = D_{11} + D_{12} = \frac{A_{12}^2}{R_1} + \frac{A_{21}^2}{R_2} = \frac{550^2}{1500} + \frac{450^2}{820} = 201,67 + 246,95 = 448,62 \quad [\text{m}]$$

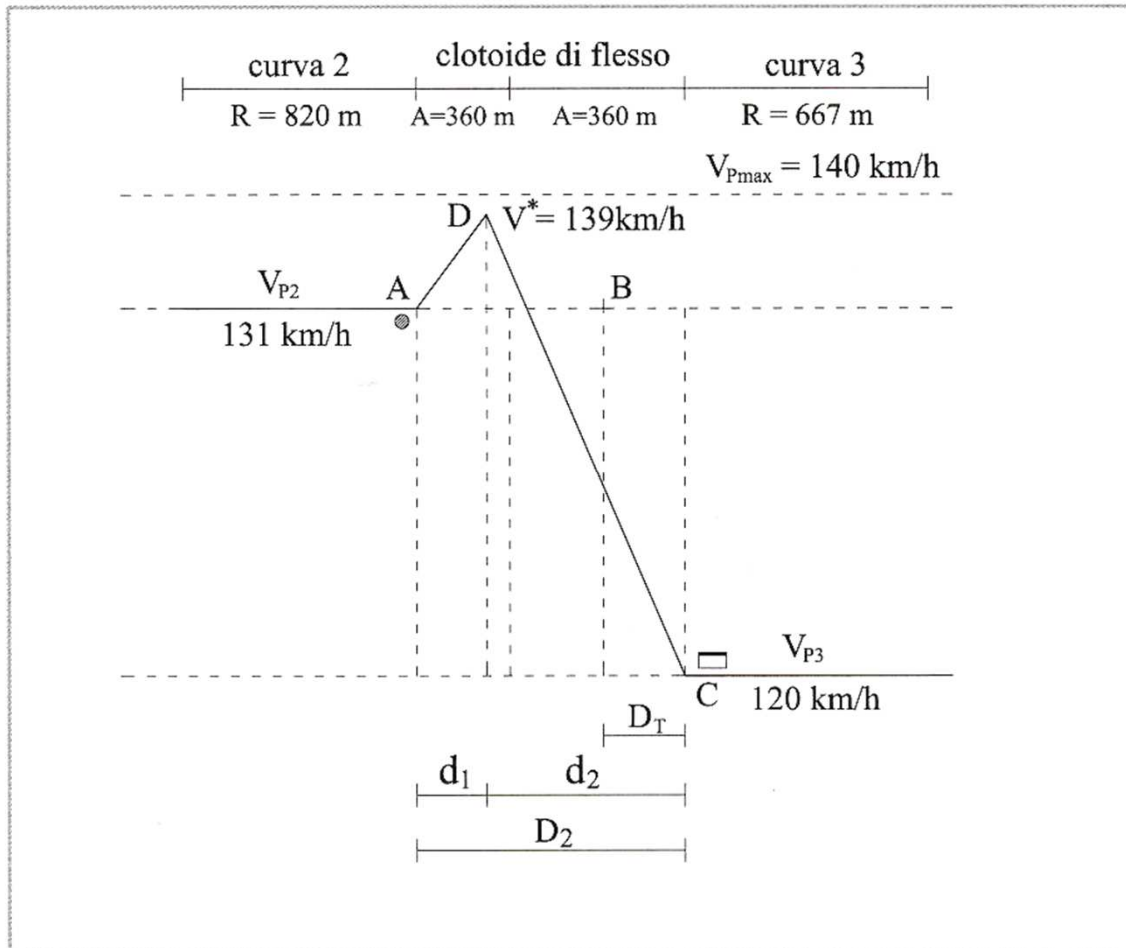
Analisi dei casi possibili (2)



$$D_{T2} = \frac{V_{p,2}^2 - V_{p,3}^2}{3,6^2 \cdot 2 \cdot a} = \frac{131^2 - 120^2}{3,6^2 \cdot 2 \cdot 0,8} = 133,15 \quad [\text{m}]$$

$$D_2 = D_{21} + D_{22} = \frac{A_{23}^2}{R_2} + \frac{A_{32}^2}{R_3} = \frac{360^2}{820} + \frac{360^2}{667} = 158,05 + 194,30 = 352,35 \quad [\text{m}]$$

Analisi dei casi possibili (3)



$$V_p^{*2} = V_{p2}^2 + 2 a d_1$$

$$V_{p,3}^2 = V_p^{*2} - 2 a d_2$$

$$D_2 = d_1 + d_2$$

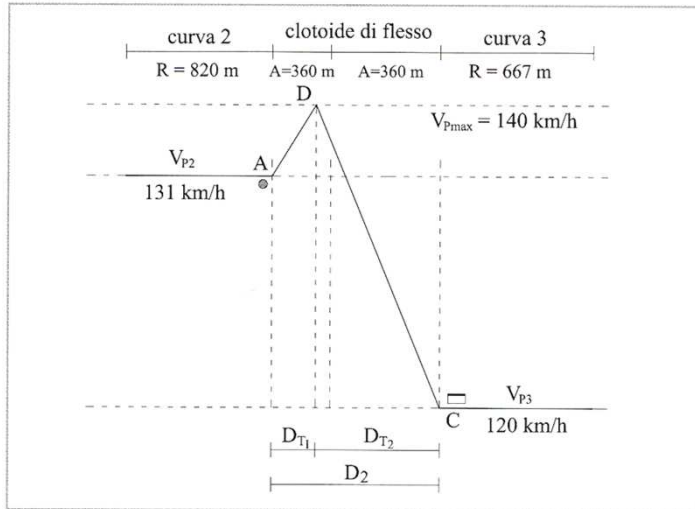
$$V_p^{*2} = (131/3,6)^2 + 2 \cdot 0,8 \cdot d_1$$

$$(120/3,6)^2 = V_p^{*2} - 2 \cdot 0,8 \cdot d_2$$

$$352,35 = d_1 + d_2$$

$$D_{T2} = \frac{V_{p,2}^2 - V_{p,3}^2}{3,6^2 \cdot 2 \cdot a} = 133,15$$

Analisi dei casi possibili (4)

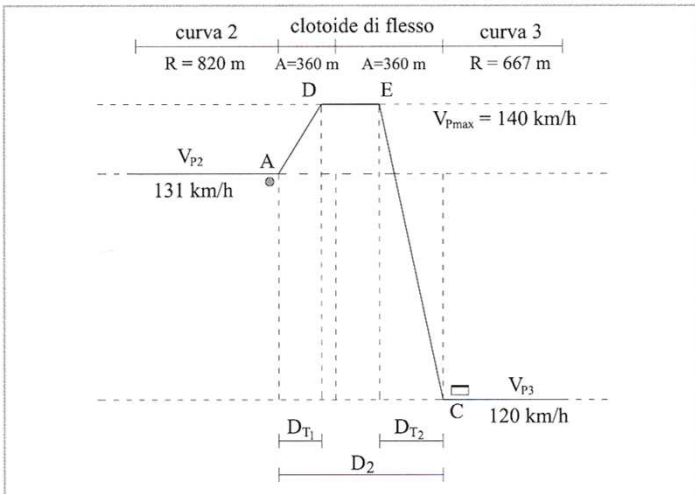


$$D_{T2} = \frac{V_{p,2}^2 - V_{p,3}^2}{3,6^2 \cdot 2 \cdot a} = 133,15$$

$$V_{Pmax}^2 = V_{p2}^2 + 2 a D_{T1}$$

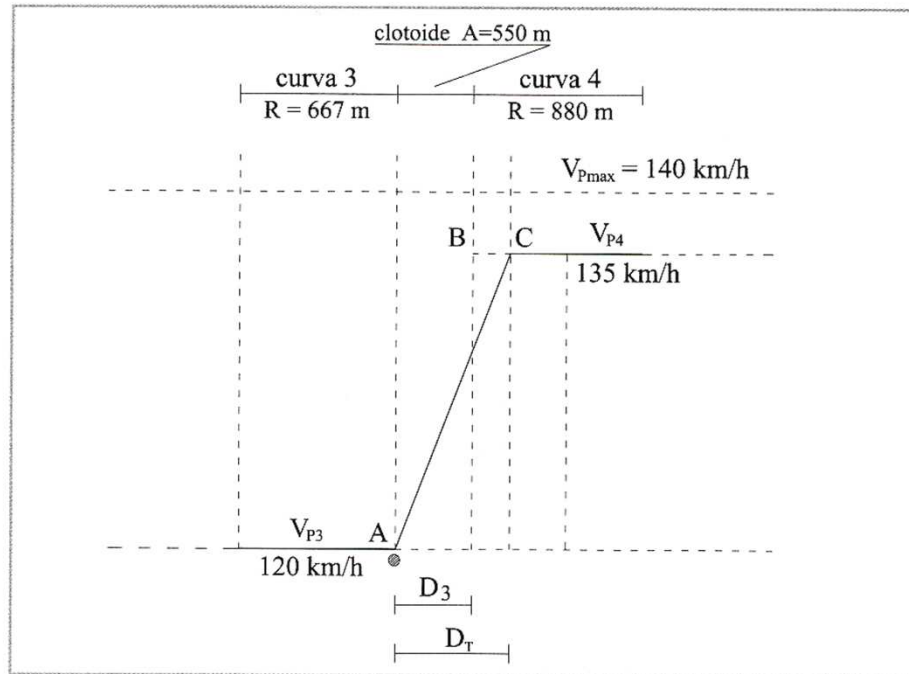
$$V_{p,3}^2 = V_{Pmax}^2 - 2 a D_{T2}$$

$$D_2 = D_{T1} + D_{T2}$$



$$D_2 > D_{T1} + D_{T2}$$

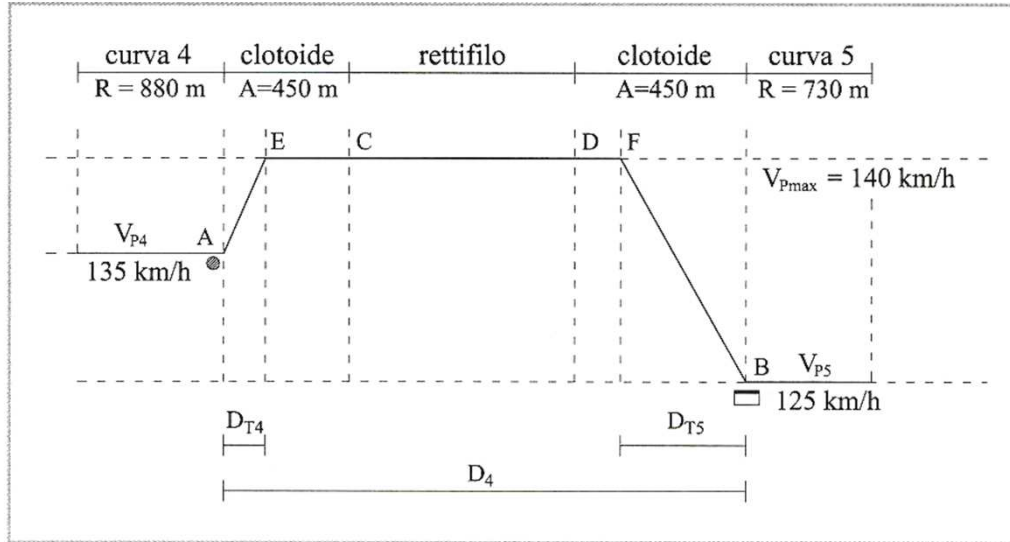
Analisi dei casi possibili (5)



$$D_{T3} = \frac{V_{p,4}^2 - V_{p,3}^2}{3,6^2 \cdot 2 \cdot a} = 184,46$$

$$D_3 = \frac{A_{34}^2}{R_3} - \frac{A_{34}^2}{R_4} = \frac{550^2}{667} - \frac{550^2}{880} = 453,52 - 343,75 = 109,77 \quad [\text{m}]$$

Analisi dei casi possibili (6)

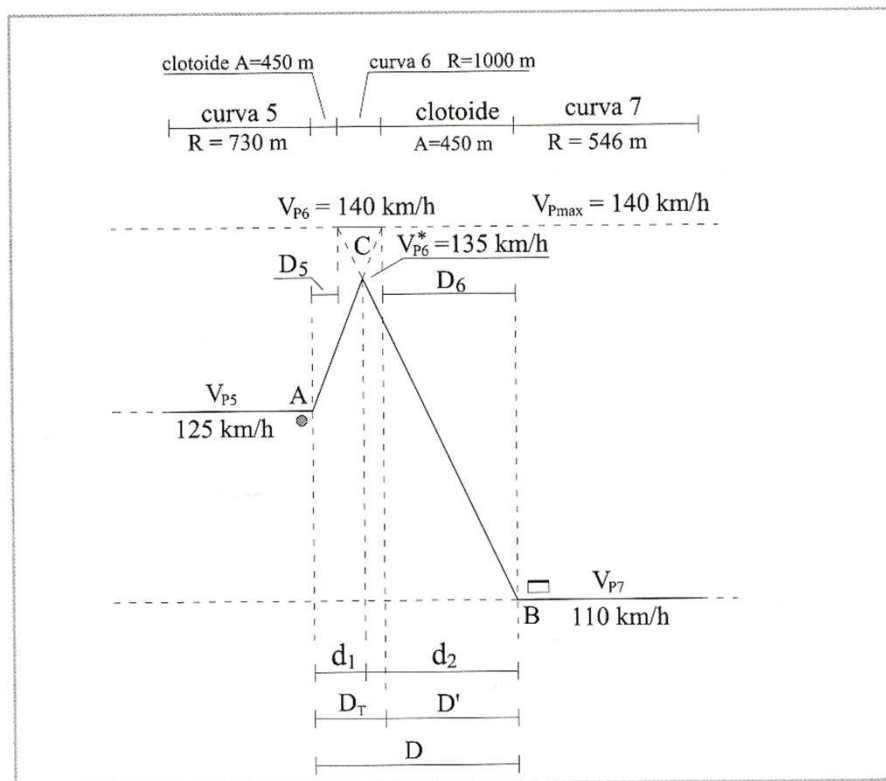


$$D_{T,4} = \frac{V_{p,\max}^2 - V_{p,4}^2}{3,6^2 \cdot 2 \cdot a} = 66,31$$

$$D_{T,5} = \frac{V_{p,\max}^2 - V_{p,5}^2}{3,6^2 \cdot 2 \cdot a} = 191,69$$

$$D_4 = D_{41} + D_{\text{Rett.}} + D_{42} = \frac{A_{45}^2}{R_4} + D_{\text{Rett.}} + \frac{A_{54}^2}{R_5} = \frac{450^2}{880} + \frac{450^2}{730} = 230,11 + D_{\text{Rett.}} + 277,40 = 507,51 + D_{\text{Rett.}} \quad [\text{m}]$$

Analisi dei casi possibili (7)



$$D_{T5} = \frac{V_{p,6}^2 - V_{p,5}^2}{3,6^2 \cdot 2 \cdot a} = \frac{140^2 - 125^2}{3,6^2 \cdot 2 \cdot 0,8} = 191,70$$

$$D_{T6} = \frac{V_{p,6}^2 - V_{p,7}^2}{3,6^2 \cdot 2 \cdot a} = \frac{140^2 - 110^2}{3,6^2 \cdot 2 \cdot 0,8} = 361,69$$

$$\begin{cases} V_{p,6}^{*2} = V_{p,5}^2 + 2 a d_1 \\ V_{p,7}^2 = V_{p,6}^{*2} - 2 a d_2 \\ D = d_1 + d_2 \end{cases}$$

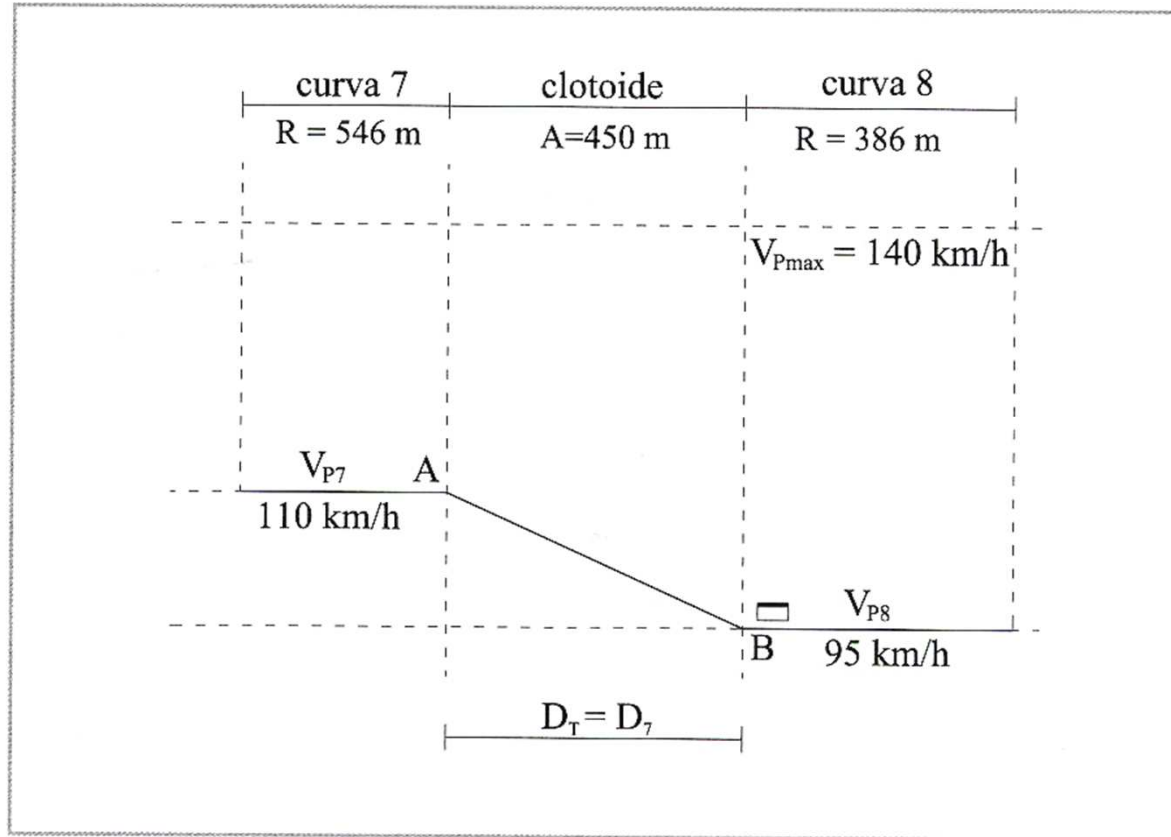
$$d_1 = \frac{V_{p,6}^{*2} - V_{p,5}^2}{3,6^2 \cdot 2 \cdot a} = \frac{135^2 - 125^2}{3,6^2 \cdot 2 \cdot 0,8} = 125,39$$

$$d_2 = \frac{V_{p,6}^{*2} - V_{p,7}^2}{3,6^2 \cdot 2 \cdot a} = \frac{135^2 - 110^2}{3,6^2 \cdot 2 \cdot 0,8} = 295,38$$

$$D = d_1 + d_2 = 420,77 = D_5 + C_6 + D_6 = \frac{450^2}{730} - \frac{450^2}{1000} + C_6 + \frac{450^2}{546} - \frac{450^2}{1000} = 74,90 + C_6 + 168,38$$

$$C_6 = D - D_5 - D_6 = 177,49$$

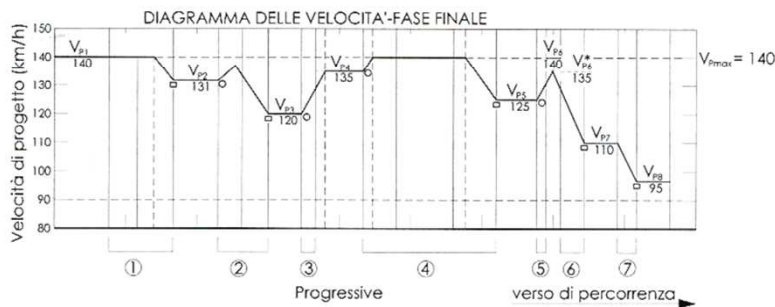
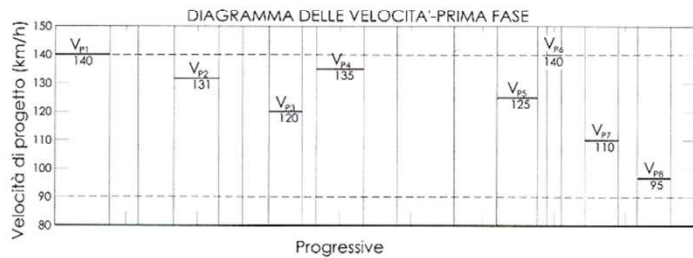
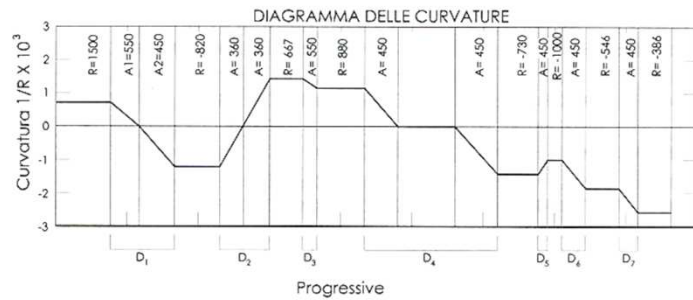
Analisi dei casi possibili (8)



$$D_{T7} = \frac{V_{p,7}^2 - V_{p,8}^2}{3,6^2 \cdot 2 \cdot a} = \frac{110^2 - 95^2}{3,6^2 \cdot 2 \cdot 0,8} = 148,29$$

$$D_7 = \frac{450^2}{386} - \frac{450^2}{546} = 153,73$$

Esame del diagramma di velocità



Per $V_{pmax} \geq 100$ km/h (autostrade, strade extraurbane principali e secondarie) nel passaggio da tratti caratterizzati dalla V_{pmax} a curve a velocità inferiore, la differenza di velocità di progetto non deve superare 10 km/h. Inoltre, fra due curve successive tale differenza, comunque mai superiore a 20 km/h, è consigliabile che non superi i 15 km/h.

Per gli altri tipi di strade ($V_{pmax} \leq 80$ km/h) nel passaggio da tratti caratterizzati dalla V_{pmax} a curve a velocità inferiore, la differenza di velocità non deve superare 5 km/h. Inoltre, fra due curve successive tale differenza, comunque mai superiore a 20 km/h, è consigliabile che non superi i 10 km/h.

①	$V_{pmax} = V_{p1} > V_{p2}$	$D_1 > D_1$	D_1 lunghezza di transizione per decelerare da V_{p1} a V_{p2}	$V_{p1} - V_{p2} \leq 10$ accett.
②	$V_{pmax} > V_{p2} > V_{p3}$	$D_2 > D_1$	D_1 lunghezza di transizione per decelerare da V_{p2} a V_{p3}	$V_{p2} - V_{p3} \leq 20$ accett.
③	$V_{p3} < V_{p4} < V_{pmax}$	$D_3 < D_1$	D_1 lunghezza di transizione per accelerare da V_{p3} a V_{p4}	$V_{p4} - V_{p3} \leq 20$ accett.
④	$V_{pmax} > V_{p4} > V_{p5}$	$D_4 > (D_{14} + D_{15})$	D_{14} lunghezza di transizione per accelerare da V_{p4} a V_{pmax} D_{15} lunghezza di transizione per decelerare da V_{pmax} a V_{p5}	$V_{p4} - V_{p5} \leq 20$ accett. $V_{pmax} - V_{p5} > 10$ non acc.
⑤	$V_{p5} < V_{p6}^* < V_{pmax}$	$D_5 < D_1$	D_1 lunghezza di transizione per accelerare da V_{p5} a V_{pmax}	$V_{p6}^* - V_{p5} \leq 20$ accett.
⑥	$V_{pmax} > V_{p6}^* > V_{p7}$	$D_6 < D_1$	D_1 lunghezza di transizione per decelerare da V_{pmax} a V_{p7}	$V_{p6}^* - V_{p7} > 20$ non acc.
⑦	$V_{pmax} > V_{p7} > V_{p8}$	$D_7 = D_1$	D_1 lunghezza di transizione per decelerare da V_{p7} a V_{p8}	$V_{p7} - V_{p8} \leq 20$ accett.

Discussione



Carl Friedrich Gauss (1777 – 1855):

“Manca di mentalità matematica tanto chi non sa riconoscere rapidamente ciò che è evidente, quanto chi si attarda nei calcoli con una precisione superiore alla necessità..”

