



Università degli Studi di Trieste

Dipartimento di Ingegneria e Architettura

Corso Laurea Triennale: Ingegneria Civile e Ambientale

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



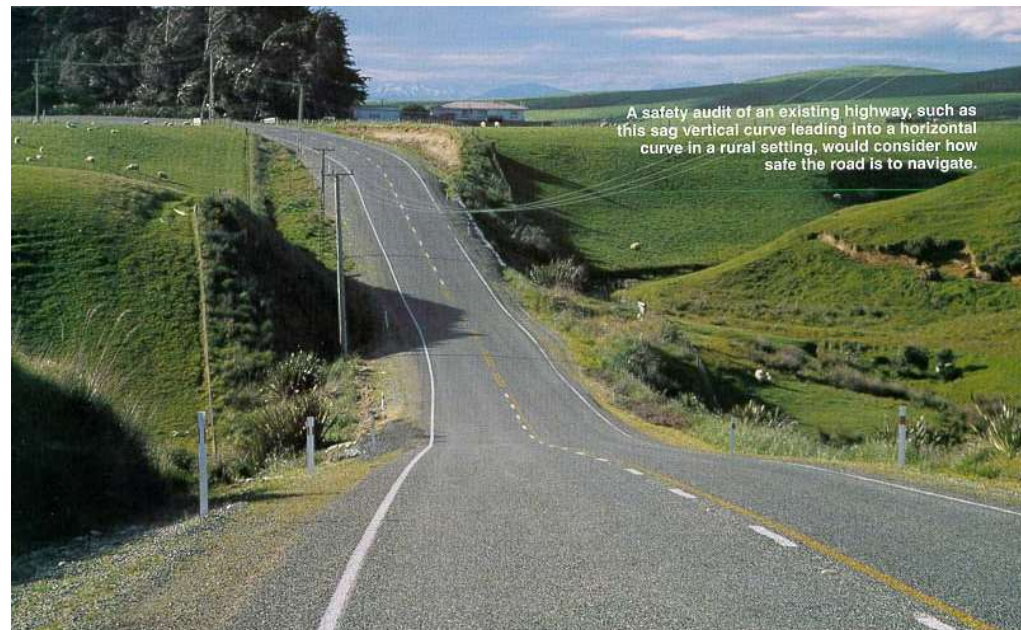
Lezione 07: L'andamento altimetrico dell'asse stradale

Roberto Roberti

Tel.: 040 558 3588

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

Anno accademico 2022/2023



Obiettivi e Sommario

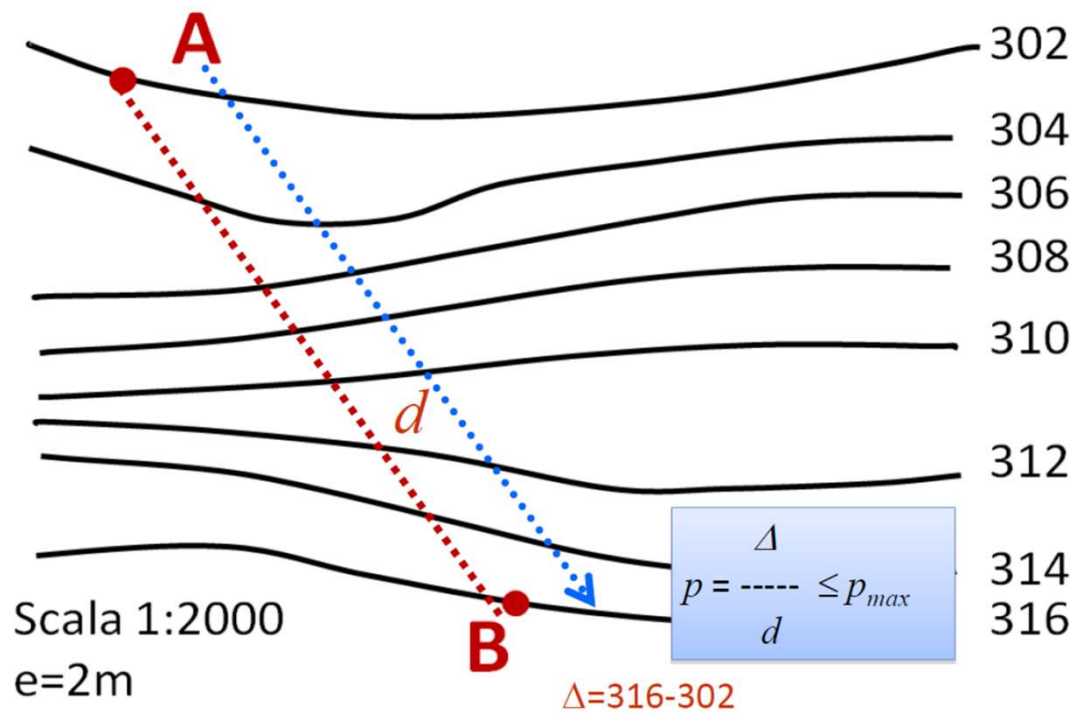
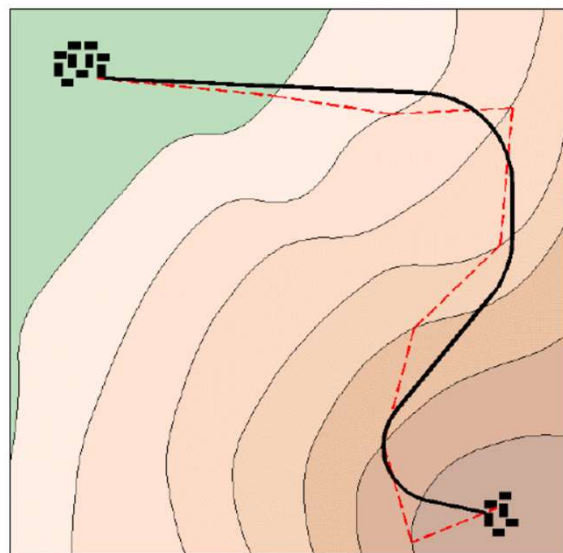
Obiettivi Lezione 07

- Progettazione dell'andamento altimetrico dell'asse stradale.

Sommario Lezione 07

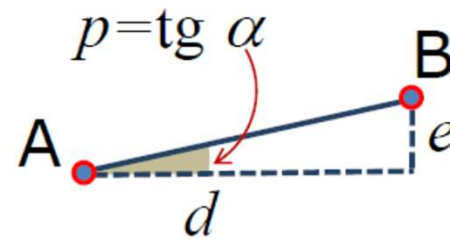
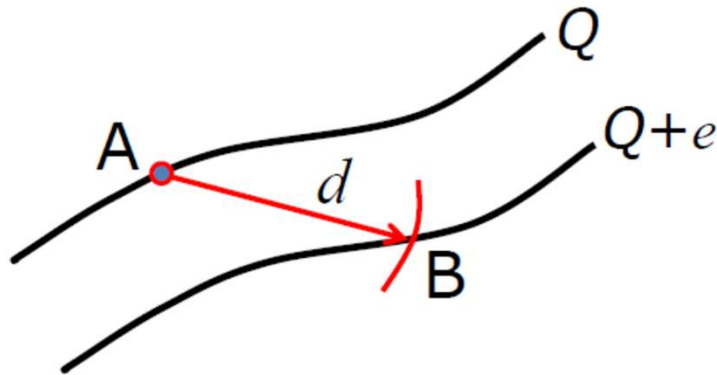
- **SCELTA DEL TRACCIATO ALTIMETRICO;**
- **GLI ELEMENTI DEL PROFILO LONGITUDINALE:**
 - Pendenze longitudinali;
 - Raccordi verticali;
- **COORDINAMENTO PLANO-ALTIMETRICO.**

La scelta del tracciato (1)



La scelta del tracciato (2)

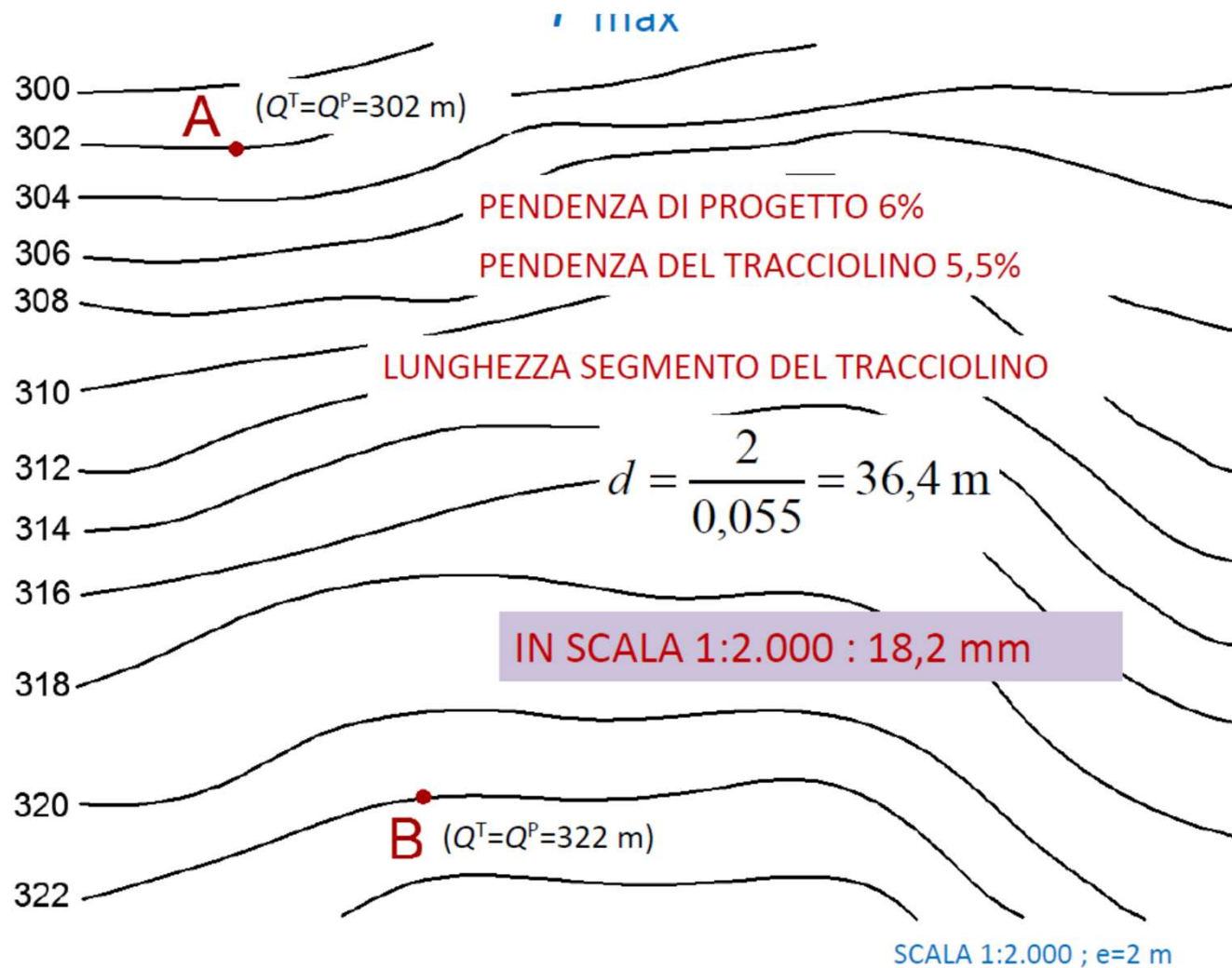
La **distanza** d (detta anche *intervallo*) necessaria per passare da una curva di livello a quella successiva, rimanendo a **livello del terreno**, con la pendenza $p = (p_{\max} - 0.5\%)$ viene ottenuta dalla **definizione** stessa di **pendenza**:



$$d = \frac{e}{p}$$

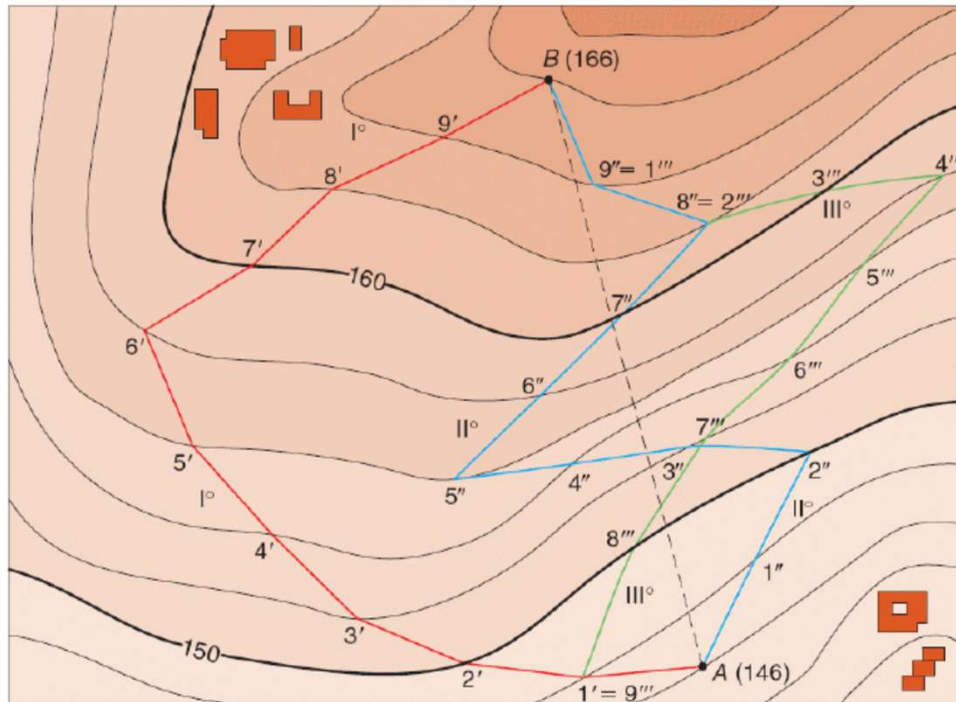
$$d = \frac{e \cdot 100}{i}$$

La scelta del tracciato (3)



La scelta del tracciato (4)

- Possono essere costruiti **numerosi tracciolini**, anche se molti di questi saranno da **scartare** perché incompatibili con la futura strada.
- **Si sceglie** quello più **conveniente** per impiegarlo come base per la progettazione del tracciato planimetrico, seguendo alcuni criteri.

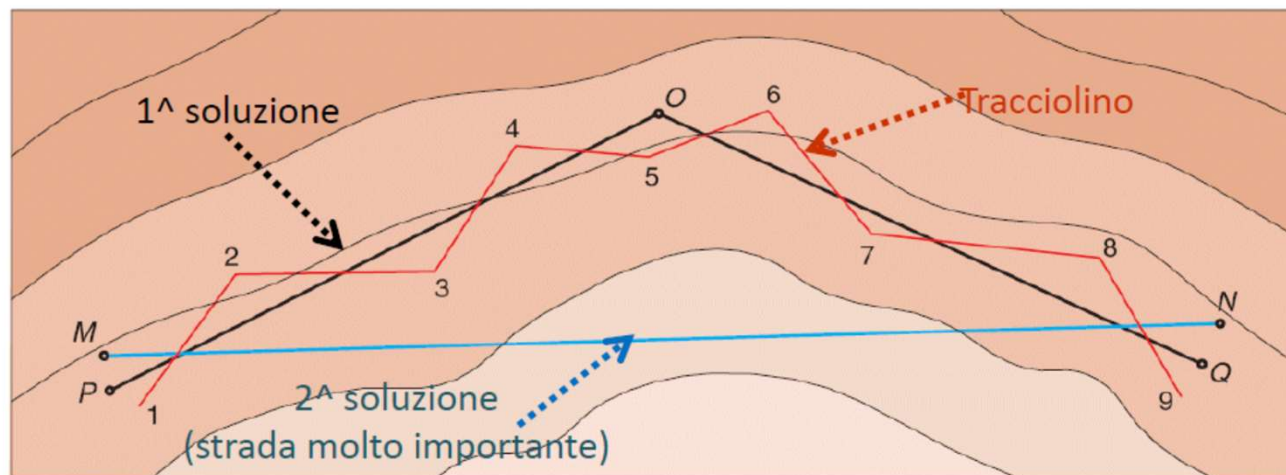


CRITERI

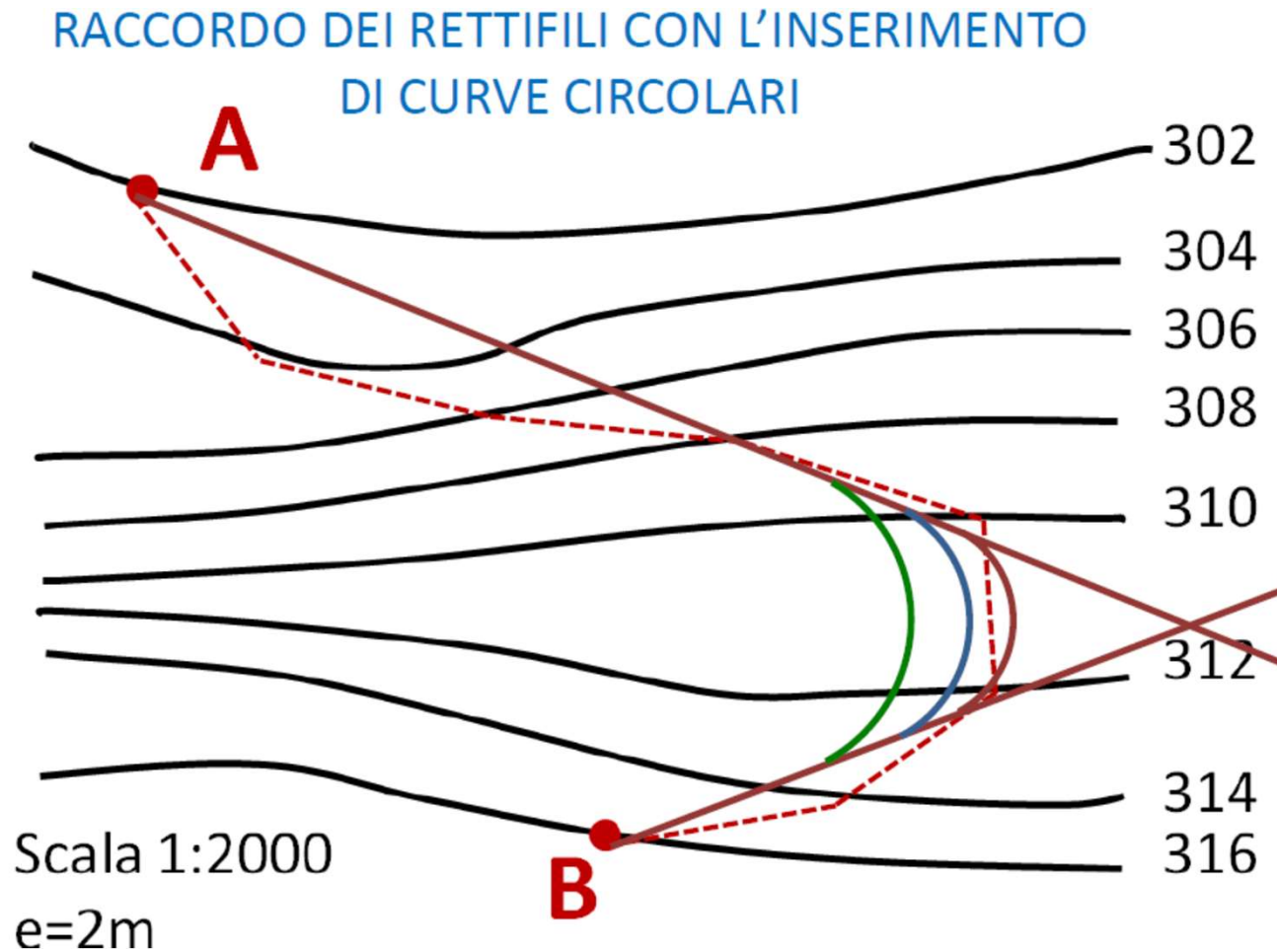
- Il percorso non dovrà presentare eccessive tortuosità.
- Il percorso dovrà essere il più breve possibile.
- Le opere d'ingegneria (muri, ponti, gallerie ecc.) dovranno essere limitate.
- Occorrerà evitare terreni geologicamente non idonei o male esposti e zone vincolate.

La scelta del tracciato (5)

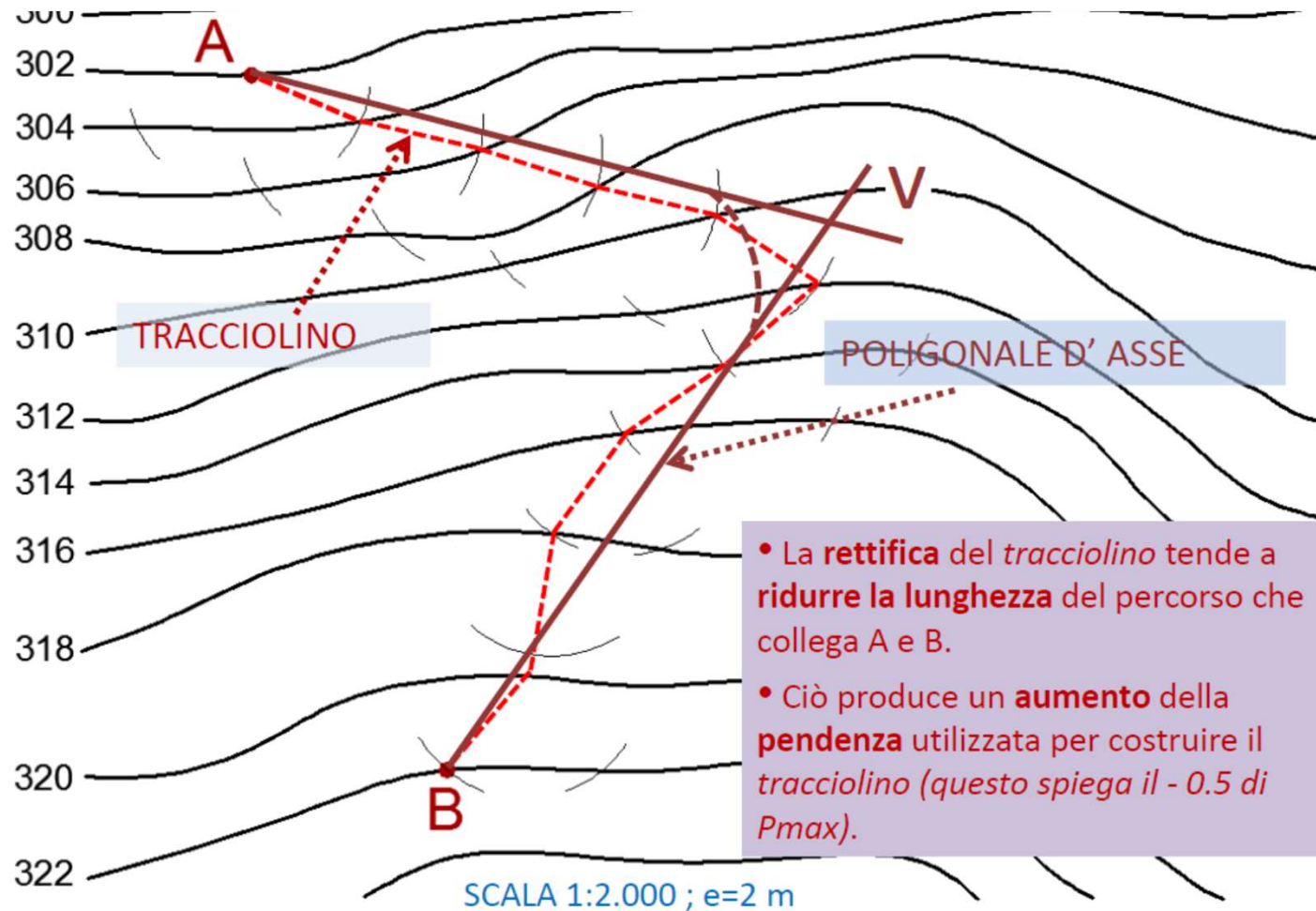
- Il percorso costituito dal tracciolino ha il pregio di rimanere **incollato al terreno** (dunque senza rilevati o trincee), tuttavia ha un andamento **troppo irregolare** per poter essere assunto, così com'è, come percorso definitivo.
- È allora necessario **sostituire** al tracciolino una spezzata costituita da un numero **decisamente inferiore** di tratti rettilinei, che costituirà la sequenza dei **rettifili** della futura strada. Essa viene detta **poligonale d'asse**.
- La definizione della poligonale d'asse è un importante passo progettuale, essa viene definita osservando l'**andamento del tracciolino**, considerando l'andamento del **terreno** e tenendo conto dell'**importanza della strada**.



La scelta del tracciato (6)



La scelta del tracciato (7)

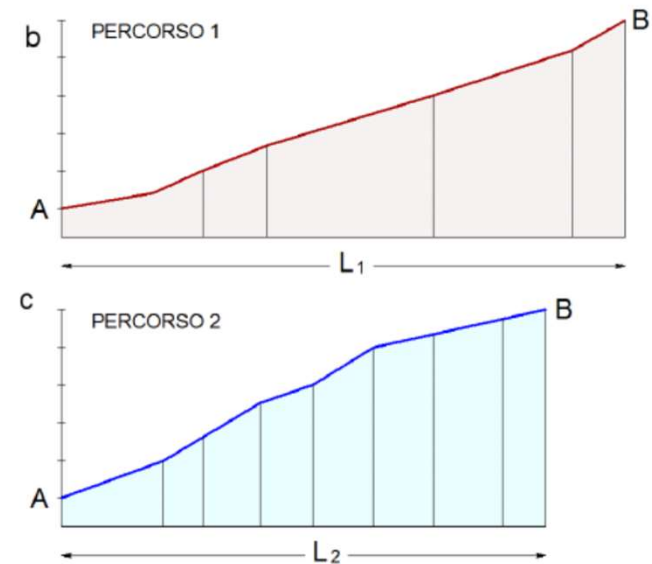
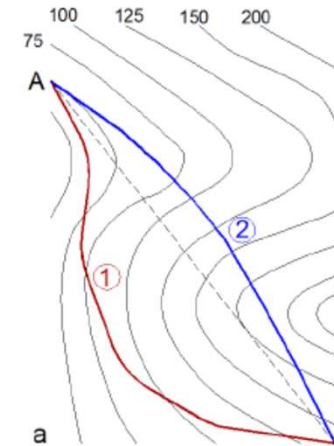


La scelta del tracciato (8)

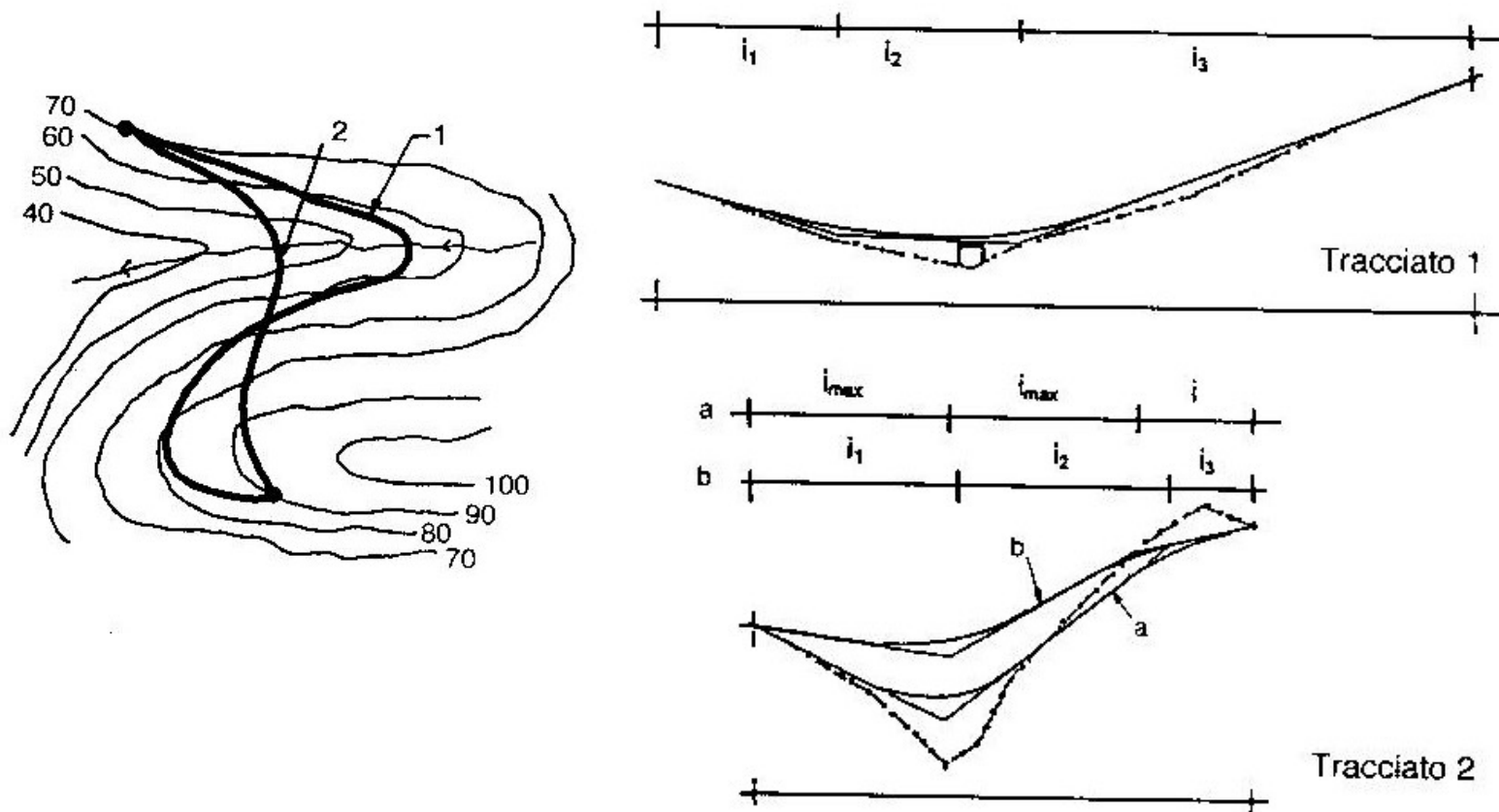


La scelta del tracciato (9)

- La **correlazione** tra andamento **planimetrico** e **altimetrico** è molto stretta; variazioni del primo incidono subito sul secondo.
- Il percorso **1** di lunghezza L_1 si adatta bene alle caratteristiche morfologiche del terreno, seguendo da vicino le curve di livello, e possiede un *andamento altimetrico* regolare.
- Il percorso **2**, invece, tiene poco conto delle caratteristiche delle curve di livello (dunque del terreno); esso presenta lunghezza L_2 minore, ma il suo *andamento altimetrico* si presenta con tratti di terreno con **pendenze maggiori** che imporranno maggiori scostamenti della strada dal livello del terreno.



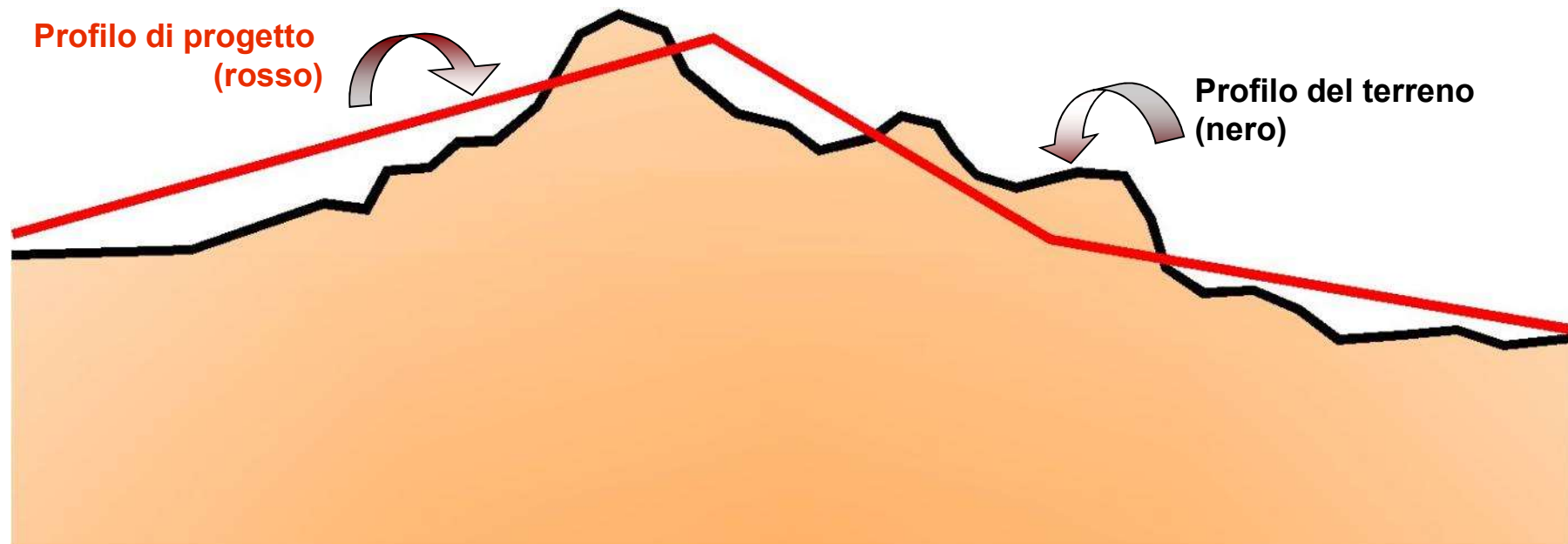
La scelta del tracciato (10)



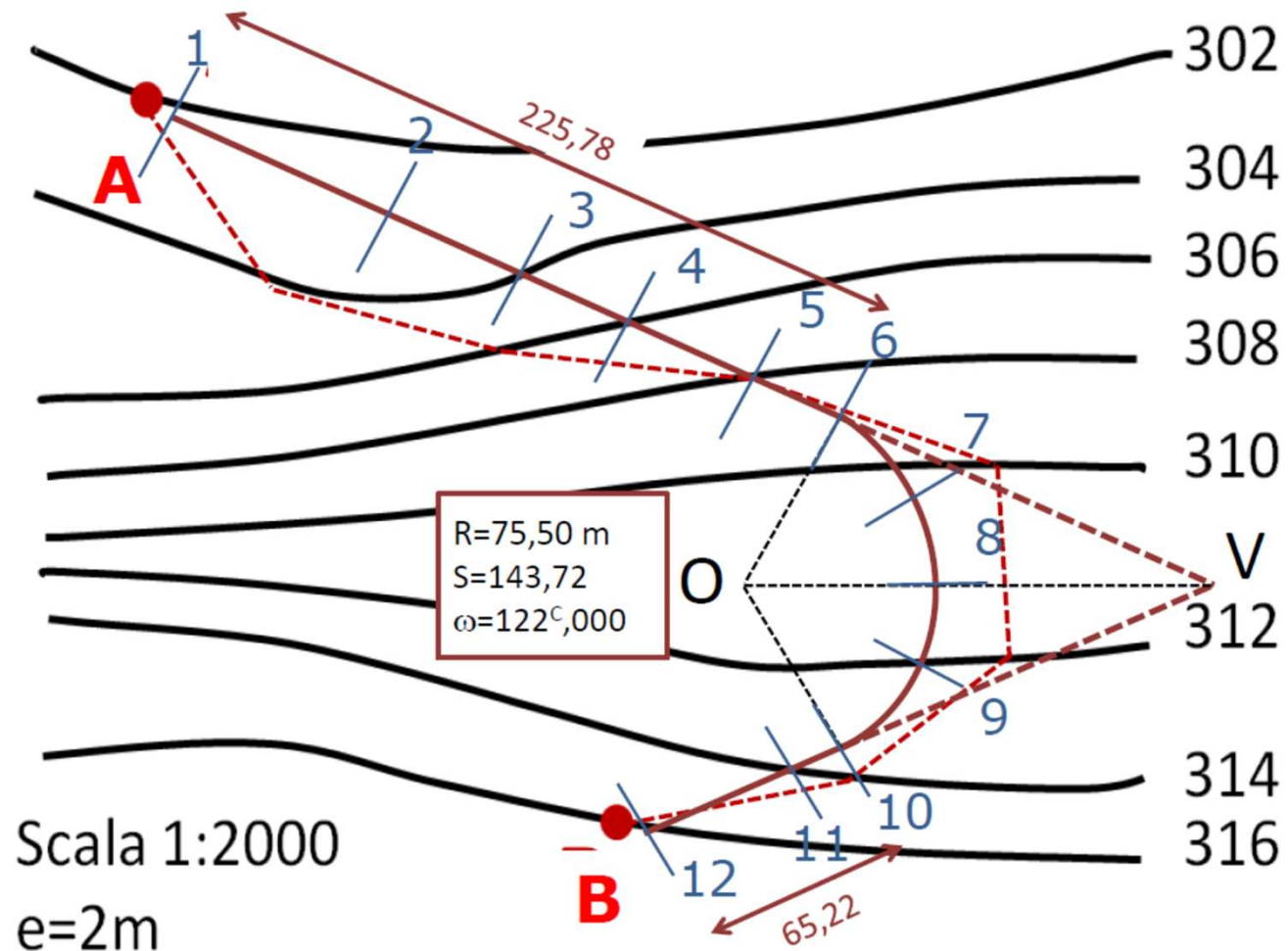
Il profilo altimetrico del tracciato (1)

Esistono due tipi di profilo longitudinale, entrambi realizzati in corrispondenza della stessa linea che è l'asse stradale, dunque disegnati in uno stesso elaborato. In particolare essi sono riferiti ai picchetti d'asse a suo tempo individuati durante la stesura della planimetria:

- 1° profilo del terreno (nero): Sviluppo dell'intersezione tra il terreno e la superficie generata da una retta verticale che segue l'asse stradale
- 2° profilo di progetto (rosso): Sviluppo dell'asse stradale su un piano verticale. Composta da tratti di asse a pendenza costante, detti "livellette", raccordati con archi di parabola.



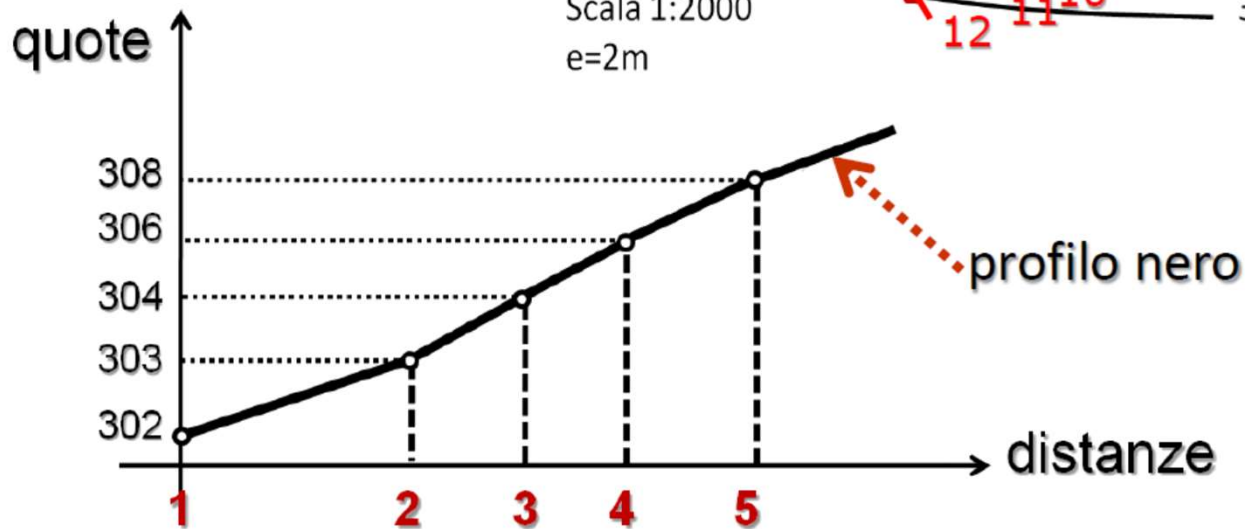
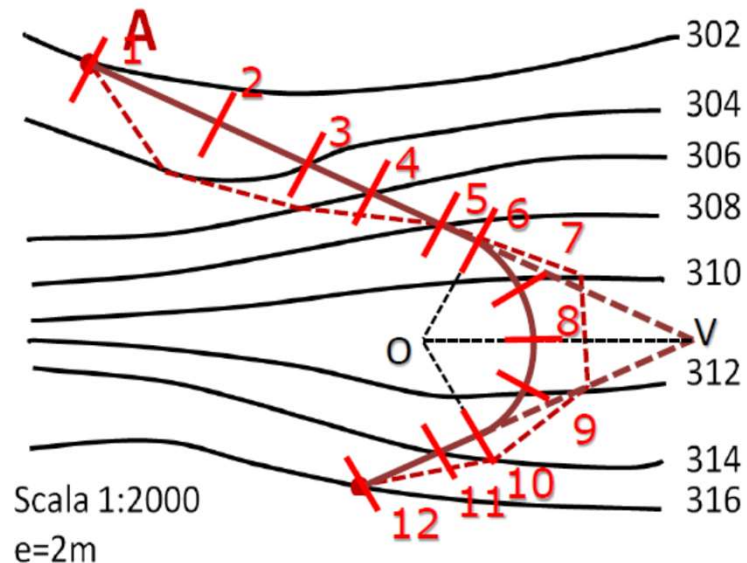
Il profilo altimetrico del tracciato (2)



Il profilo altimetrico del tracciato (3)

LA COSTRUZIONE DEL PROFILO TERRENO

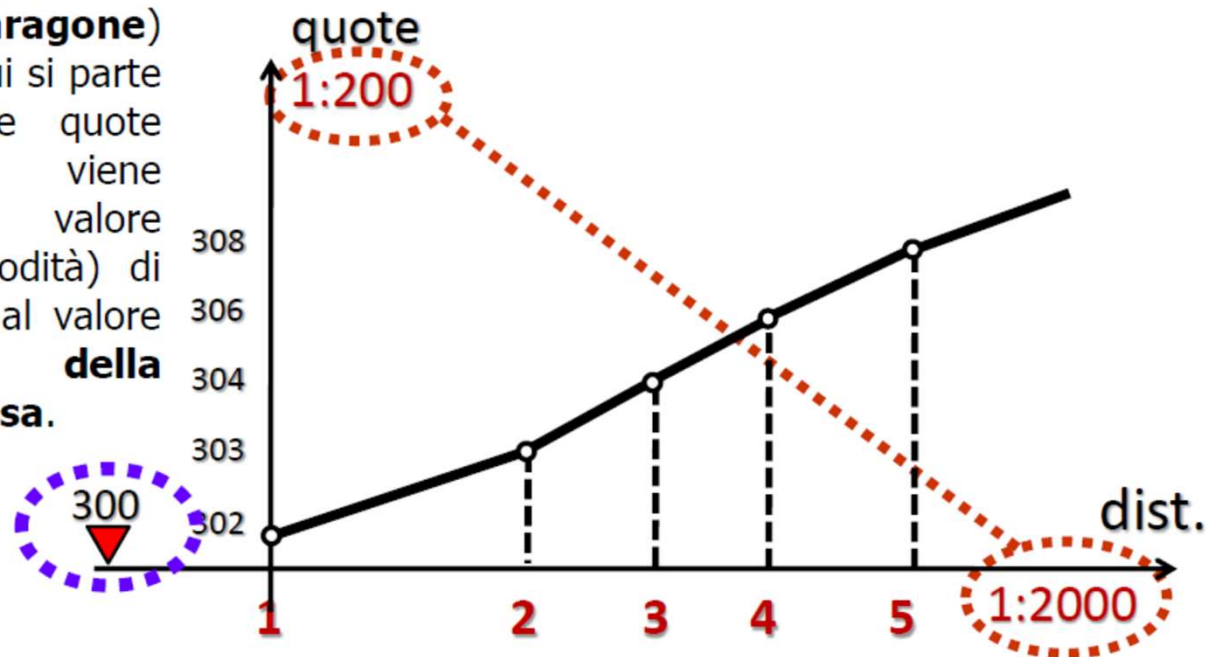
È un **diagramma** nel quale in ascisse vengono riportate le **distanze progressive** relative a ciascuna **sezione**, mentre in ordinate vengono riportate le corrispondenti **quote** del terreno.



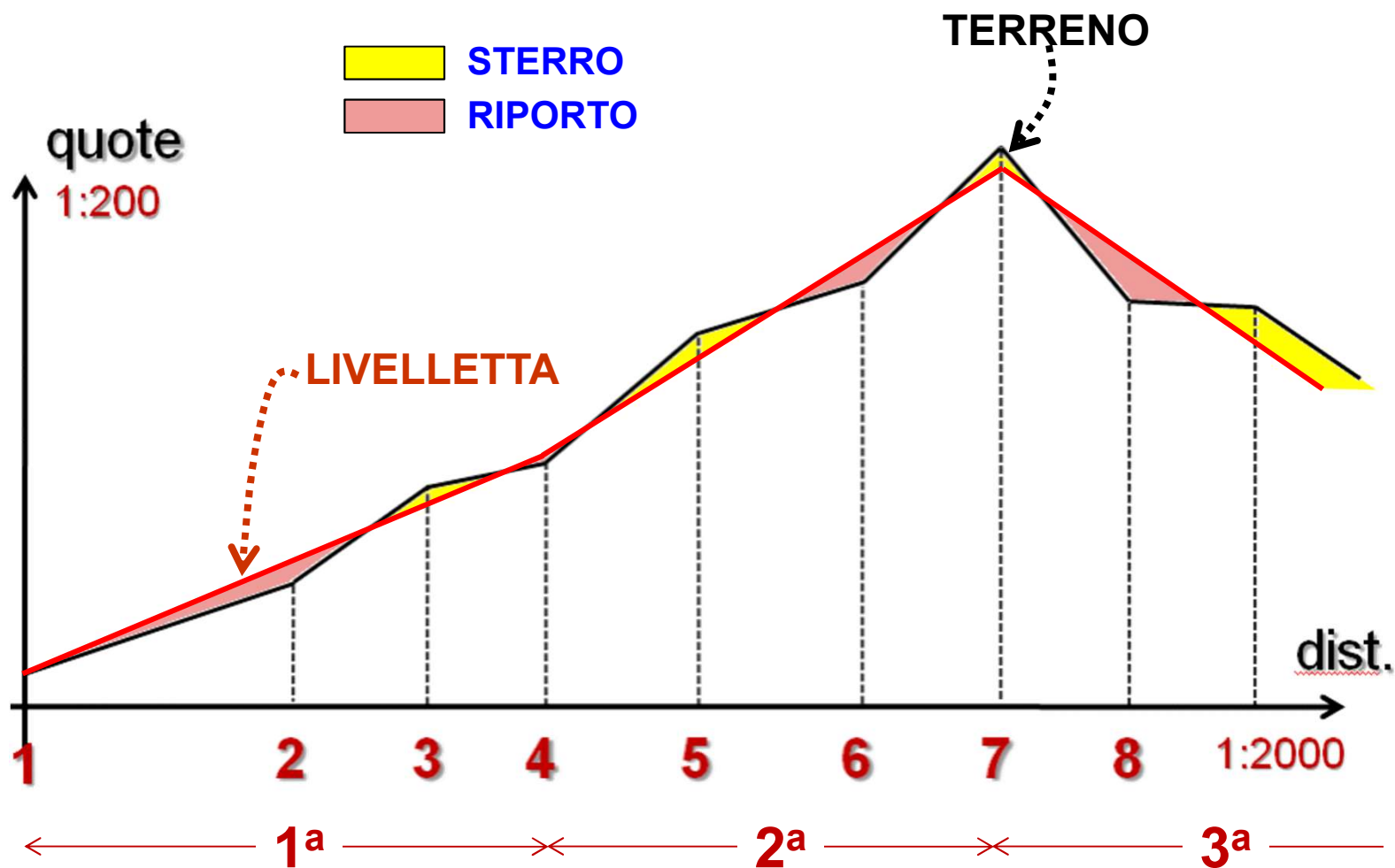
Il profilo altimetrico del tracciato (4)

● Le **quote** (ordinate) vengono rappresentate convenzionalmente con una **scala maggiore**, di solito 10 volte, di quella utilizzata per rappresentare le distanze (es. 1:2.000/1:200); si ha così l'effetto di **deformare** la rappresentazione del terreno per **evidenziare meglio i dislivelli**.

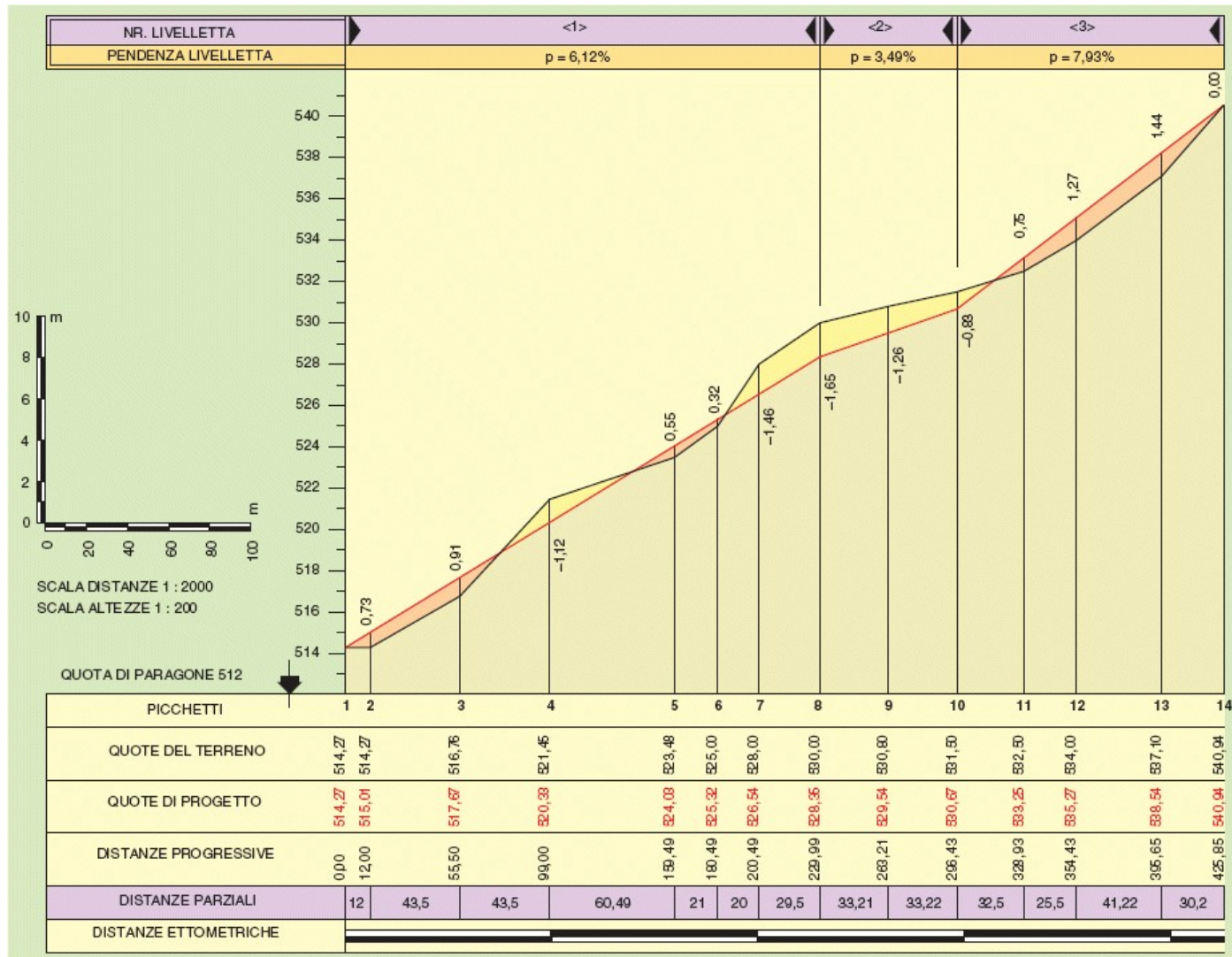
● Al **piano di riferimento** (o di **paragone**) orizzontale, da cui si parte per riportare le quote delle sezioni, viene assegnato un valore intero (per comodità) di **poco inferiore** al valore della **quota della sezione più bassa**.



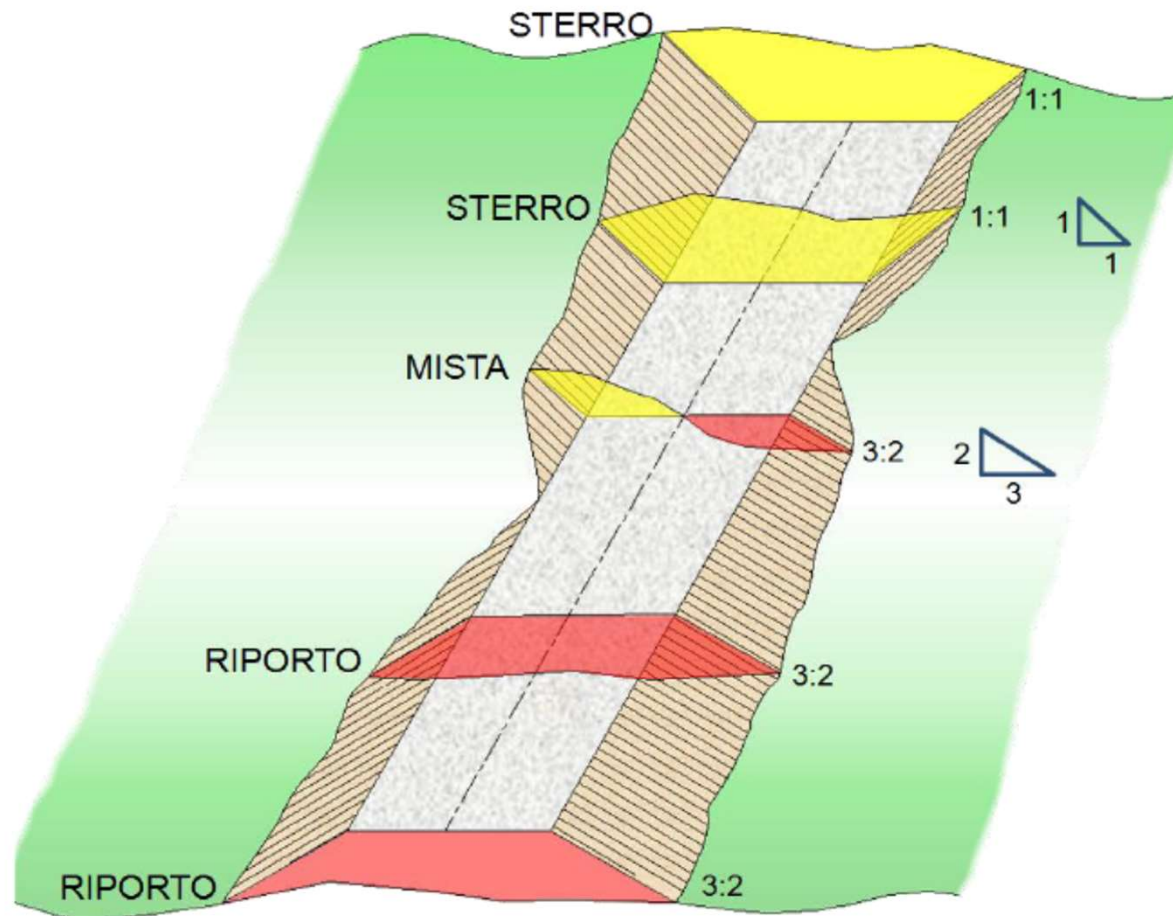
Il profilo altimetrico del tracciato (5)



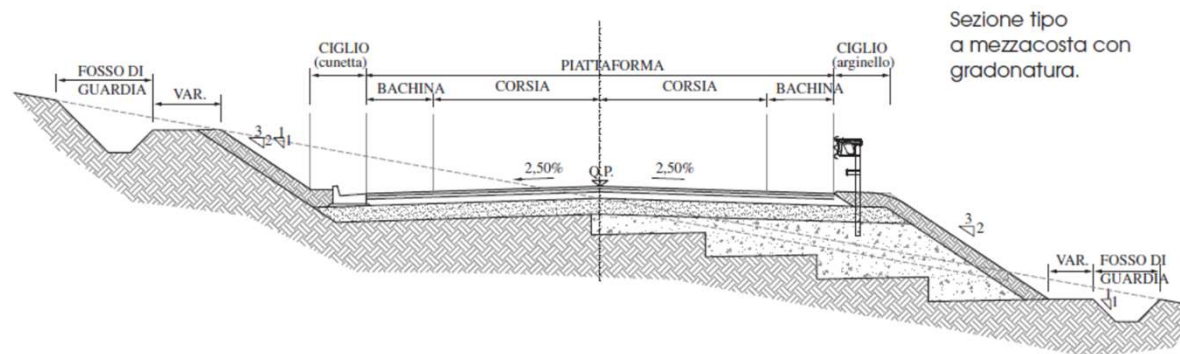
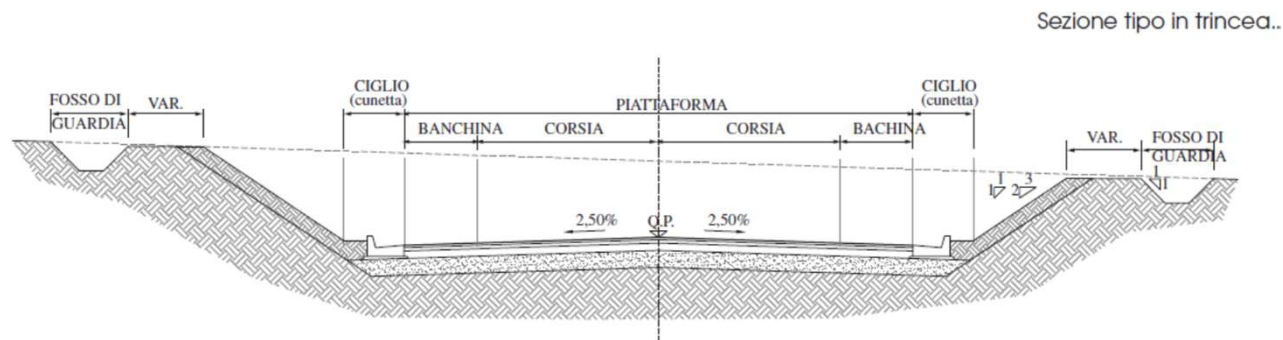
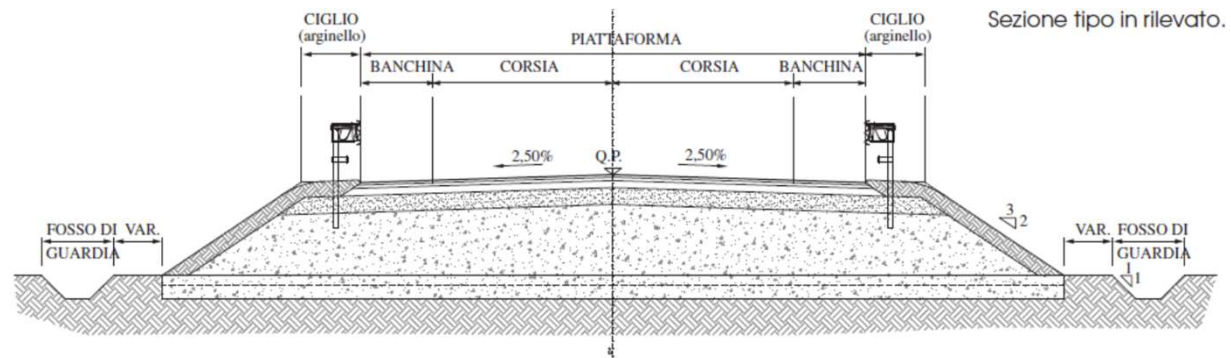
Il profilo altimetrico del tracciato (6)



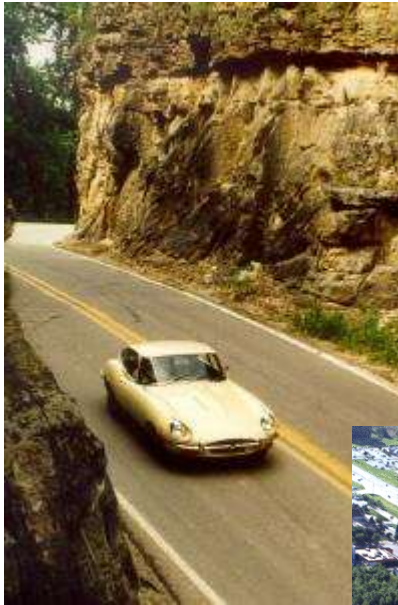
Le sezioni trasversali (1)



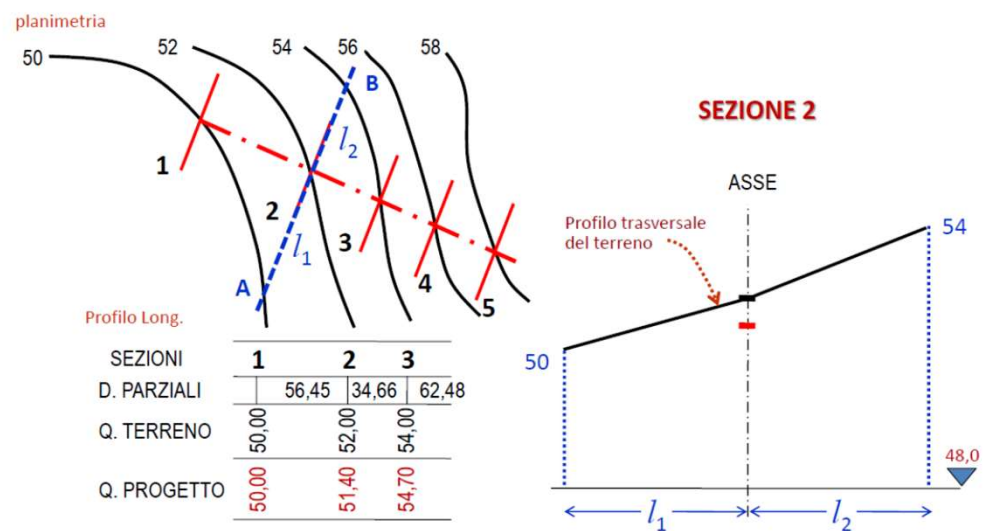
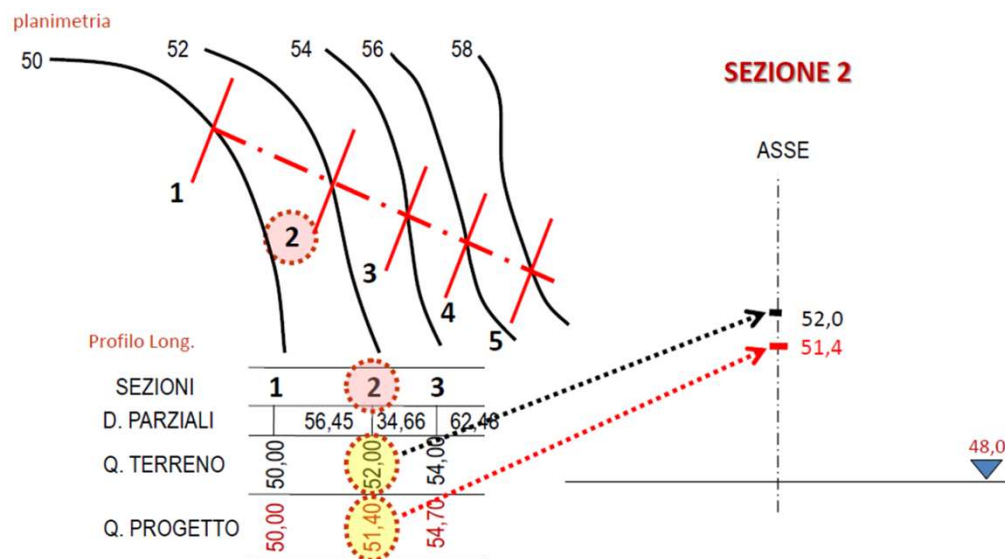
Le sezioni trasversali (2)



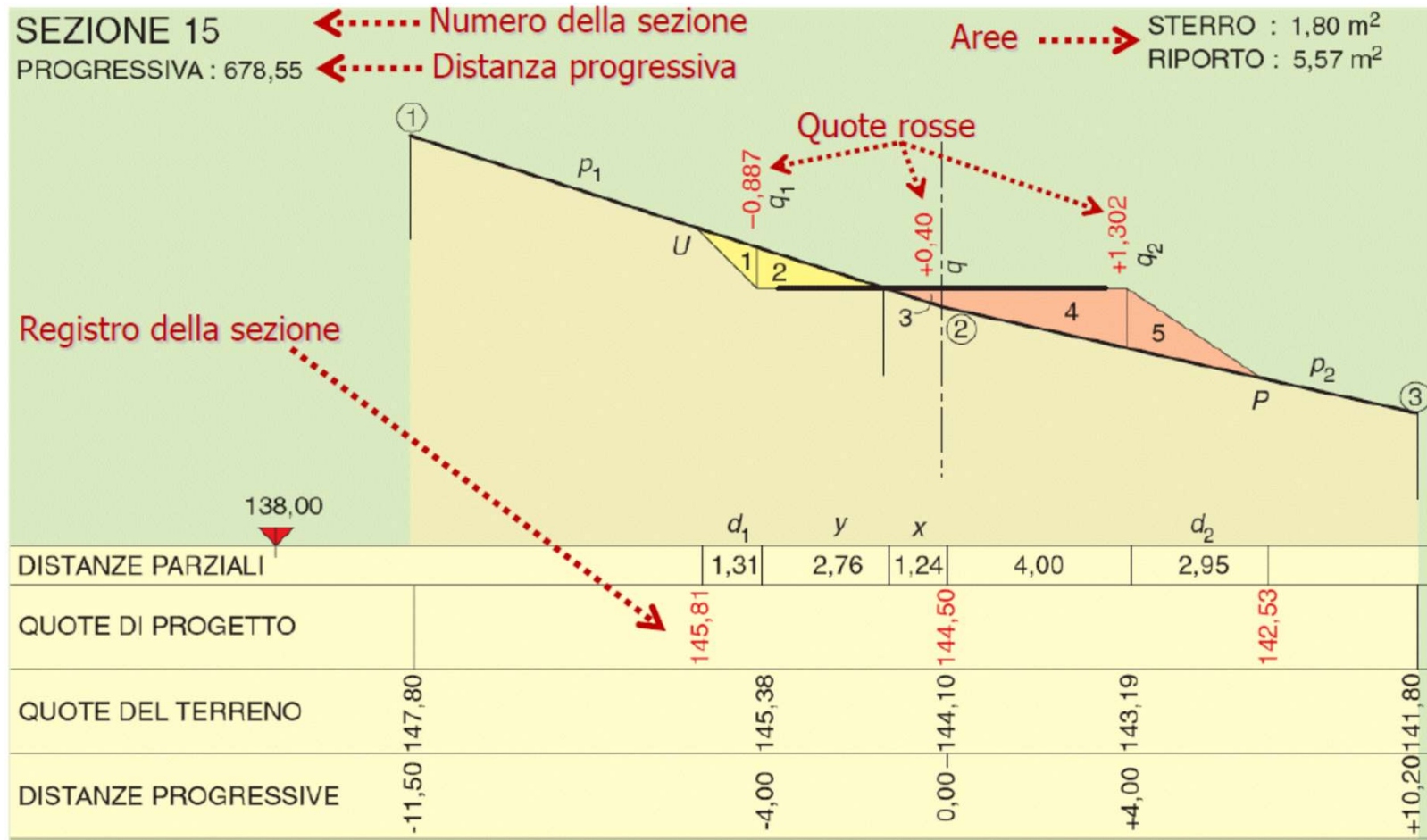
Le sezioni trasversali (3)



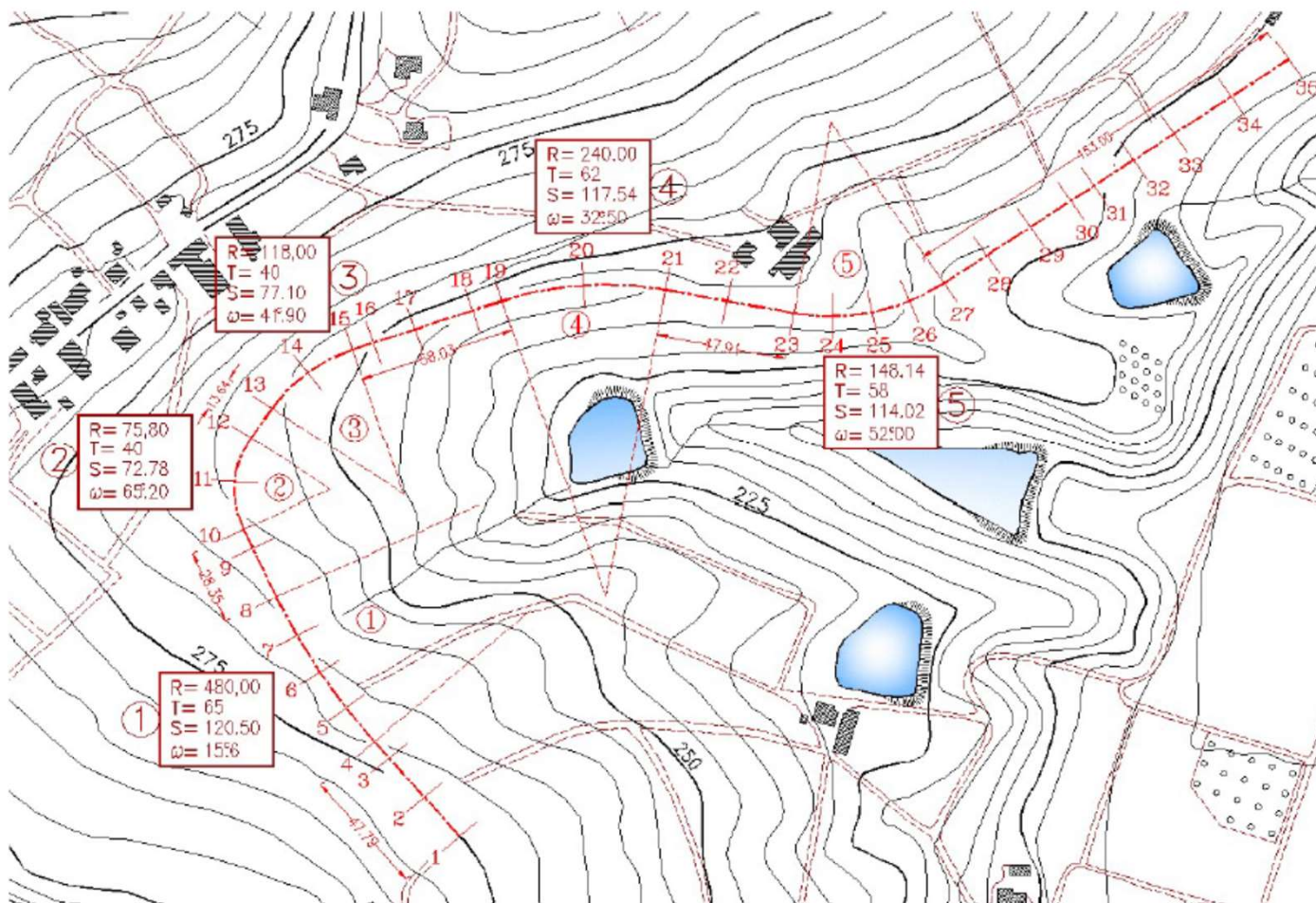
Le sezioni trasversali (4)



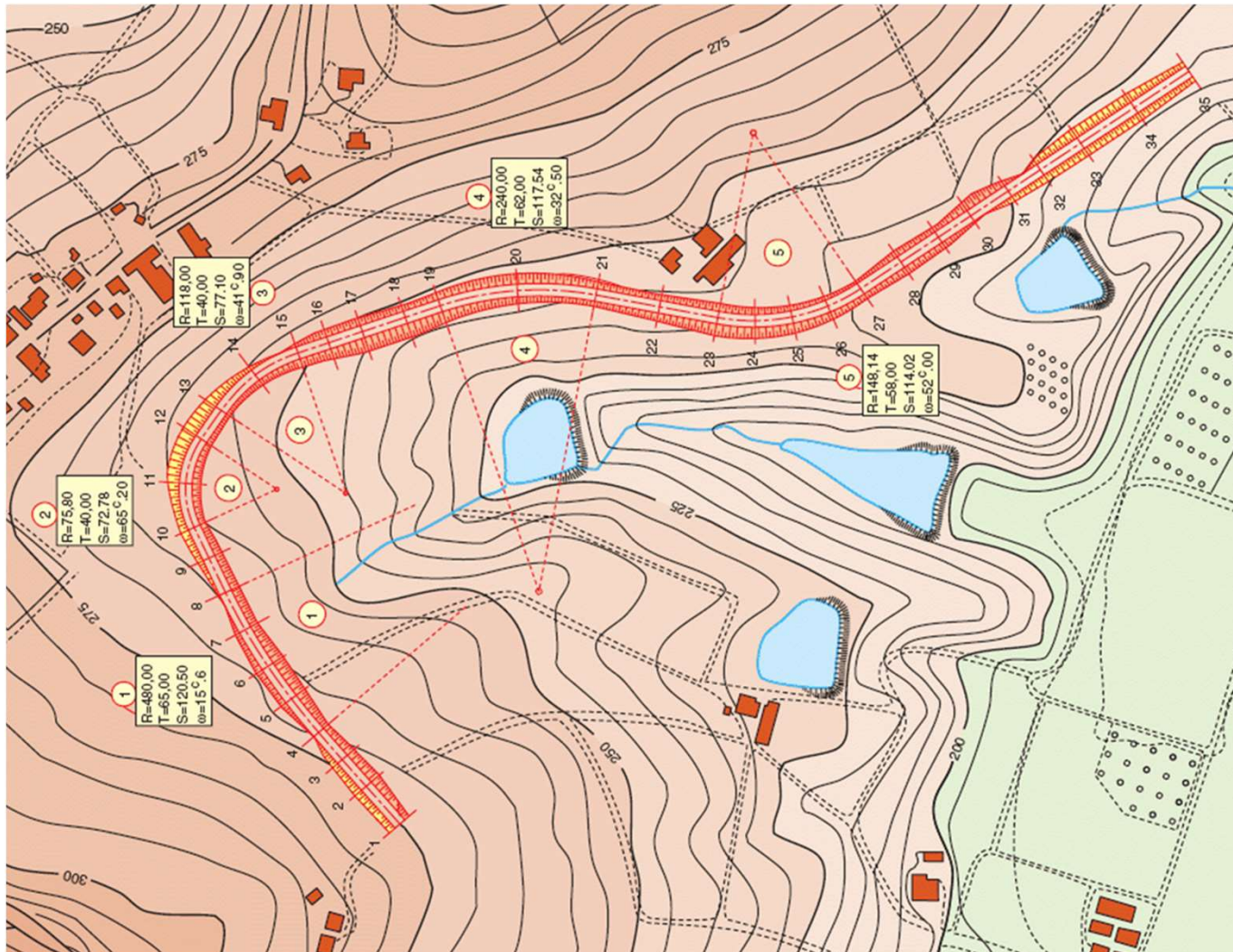
Le sezioni trasversali (5)



Esempio di asse planimetrico

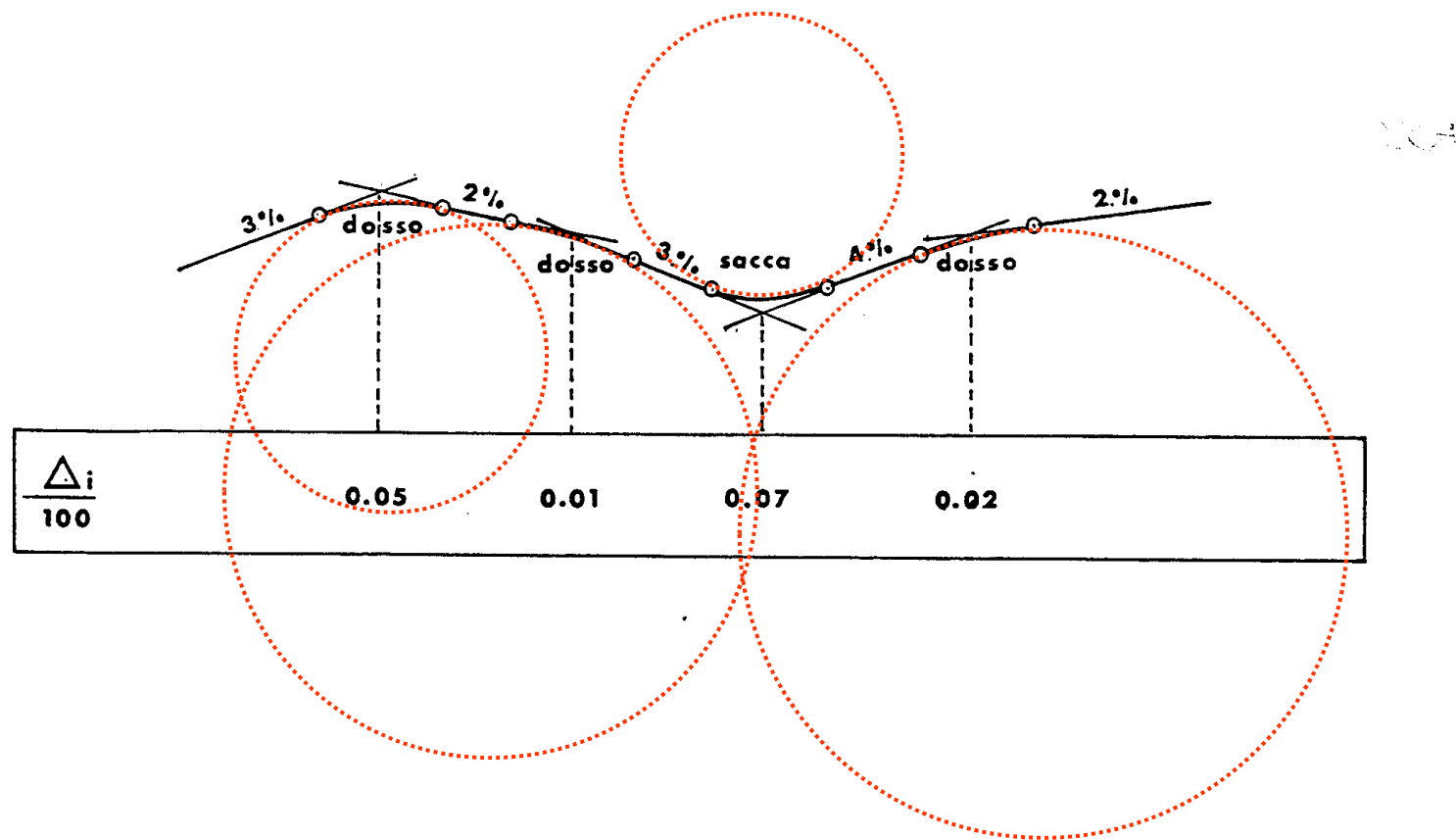


Esempio di planimetria stradale

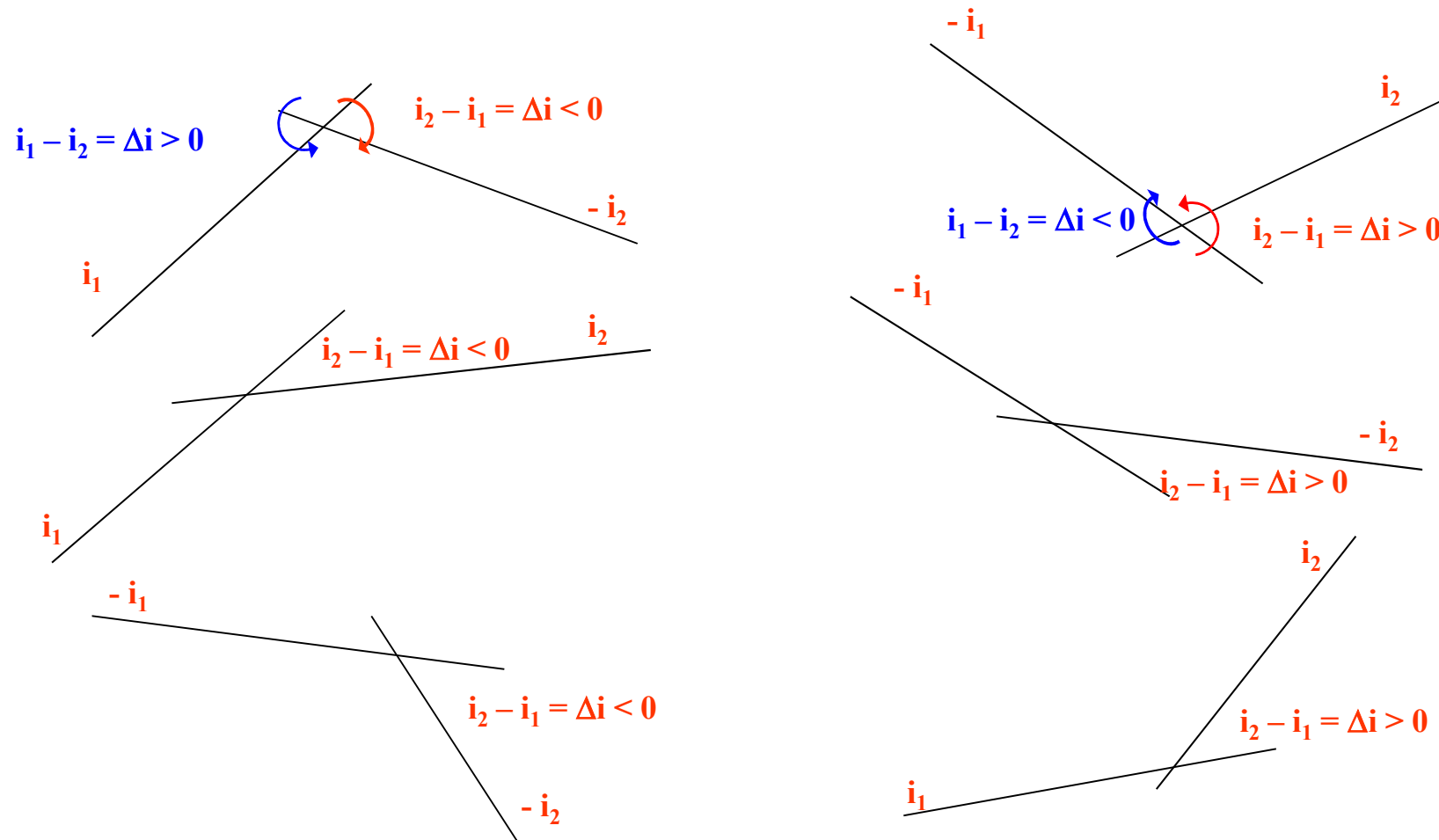


Gli elementi del profilo longitudinale (1)

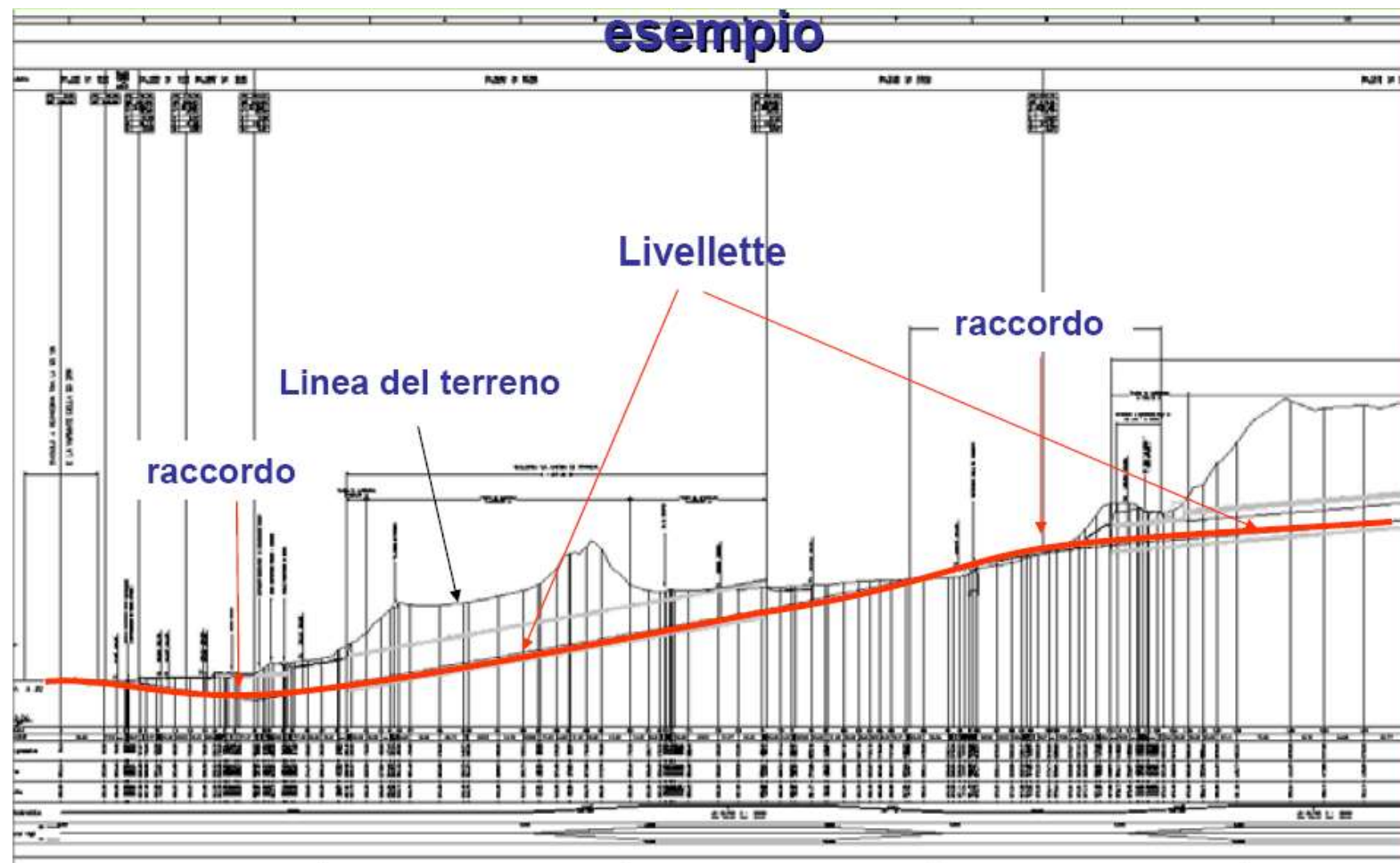
Il profilo longitudinale è costituito da una successione di segmenti retti (livелlette) con diverse inclinazioni, raccordati tra loro con archi curvilinei generalmente circolari o parabolici (raccordi verticali) concavi o convessi



Gli elementi del profilo longitudinale (2)



Gli elementi del profilo longitudinale (3)



Pendenze longitudinali

Le pendenze massime adottabili sui vari tipi di strada sono:

Tipo di strada	extraurbana	urbana
Autostrada (A)	5 %	6 %
Principale (B)	6 %	-
Secondaria (C)	7 %	-
Scorrimento (D)	-	6 %
Quartiere (E)	-	8 %
Locale (F)	10 %	10 %

Questi valori possono essere aumentati di un unità qualora risulti che lo sviluppo della livelletta non sia tale da penalizzare la circolazione.

Per strade di tipo A, B, D è opportuno, per contenere le emissioni di sostanze inquinanti ed i fumi, non superare in galleria la pendenza del 4 %.

Corsie supplementari (1)

Sulle livellette con forte pendenza, soprattutto quelle di notevole lunghezza, dovrà valutarsi l'opportunità di allargare la sezione trasversale della strada, realizzando una corsia supplementare destinata ai veicoli lenti.

L'introduzione di questa corsia dovrà, in ogni caso, essere giustificata in base ad uno studio che tenga conto:

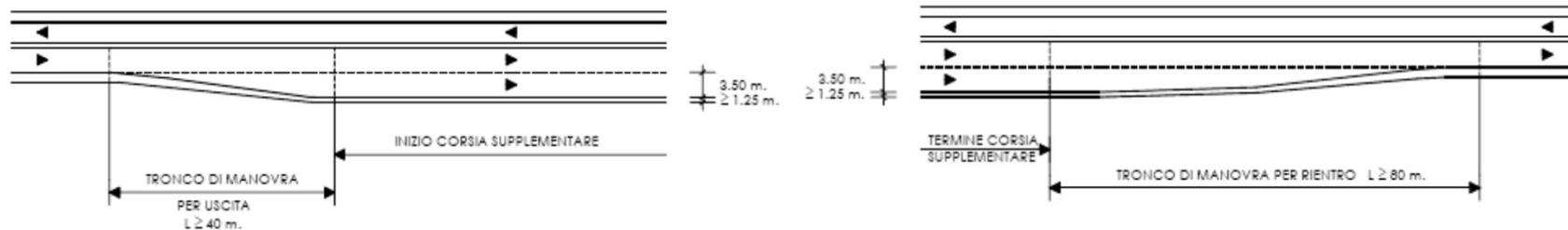
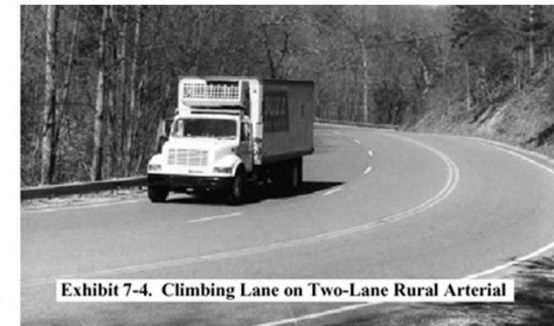
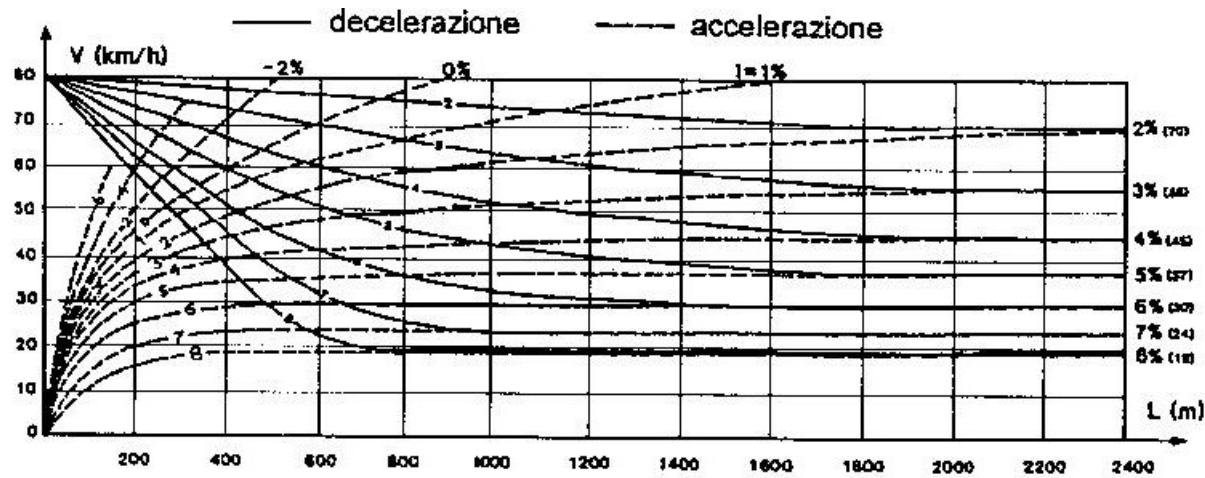
- del rallentamento subito dai veicoli pesanti sulle rampe, da considerarsi intollerabile se la velocità di detti veicoli si riduce a meno del 50% di quella delle autovetture sulle stesse rampe. Per la valutazione delle suddette velocità, vanno seguiti i criteri del diagramma delle velocità, con l'avvertenza che per quanto riguarda le autovetture le velocità si riducono convenzionalmente sulle pendenze uguali o superiori al 6% come nella tabella seguente,

i %	6	7	8	9	10
Vp [km/h]	95	85	80	75	70

- del decadimento della qualità della circolazione e delle condizioni di sicurezza in rapporto alla percentuale di veicoli pesanti ed al volume di traffico previsto (manuale H.C.M.).

Corsie supplementari (2)

per quanto riguarda i veicoli pesanti le velocità sulle rampe vanno determinate in base ai diagrammi di prestazione (vedi il manuale H.C.M.)



Corsie supplementari (3)

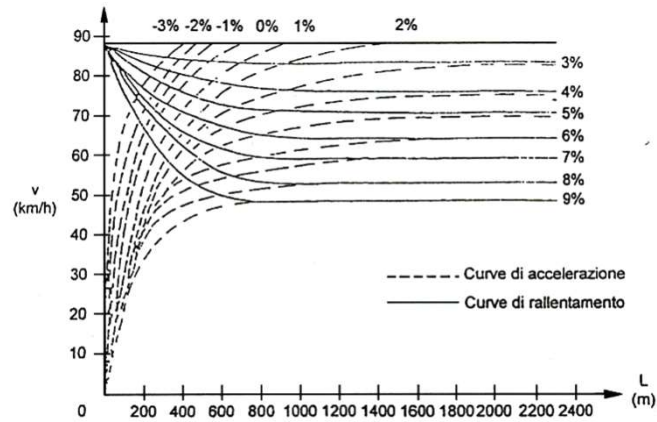


Fig.3a – Variazione della velocità in funzione della pendenza e della lunghezza della livelletta per autocarro leggero ($W/N=1,635$ pari a 22 CV/t) [4]

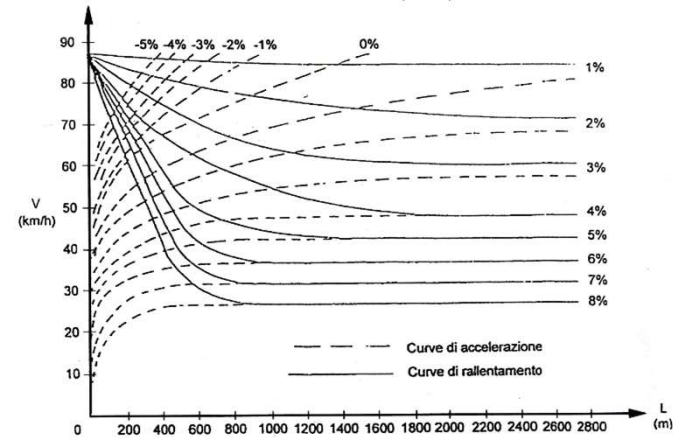


Fig.3c – Variazione della velocità in funzione della pendenza e della lunghezza della livelletta per autocarro pesante ($W/N=0,83$ pari a 11 CV/t) [4]

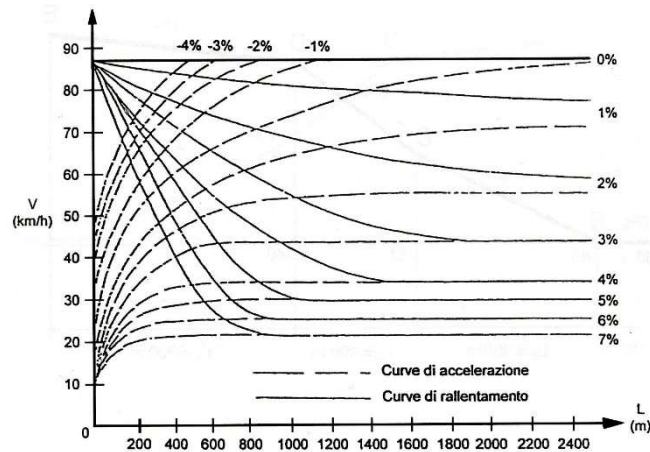


Fig.3b – Variazione della velocità in funzione della pendenza e della lunghezza della livelletta per autocarro molto pesante ($W/N=0,55$ pari a 7,4 CV/t) [4]

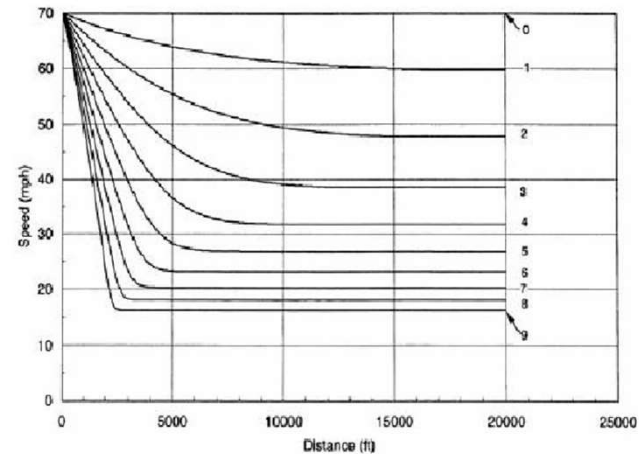
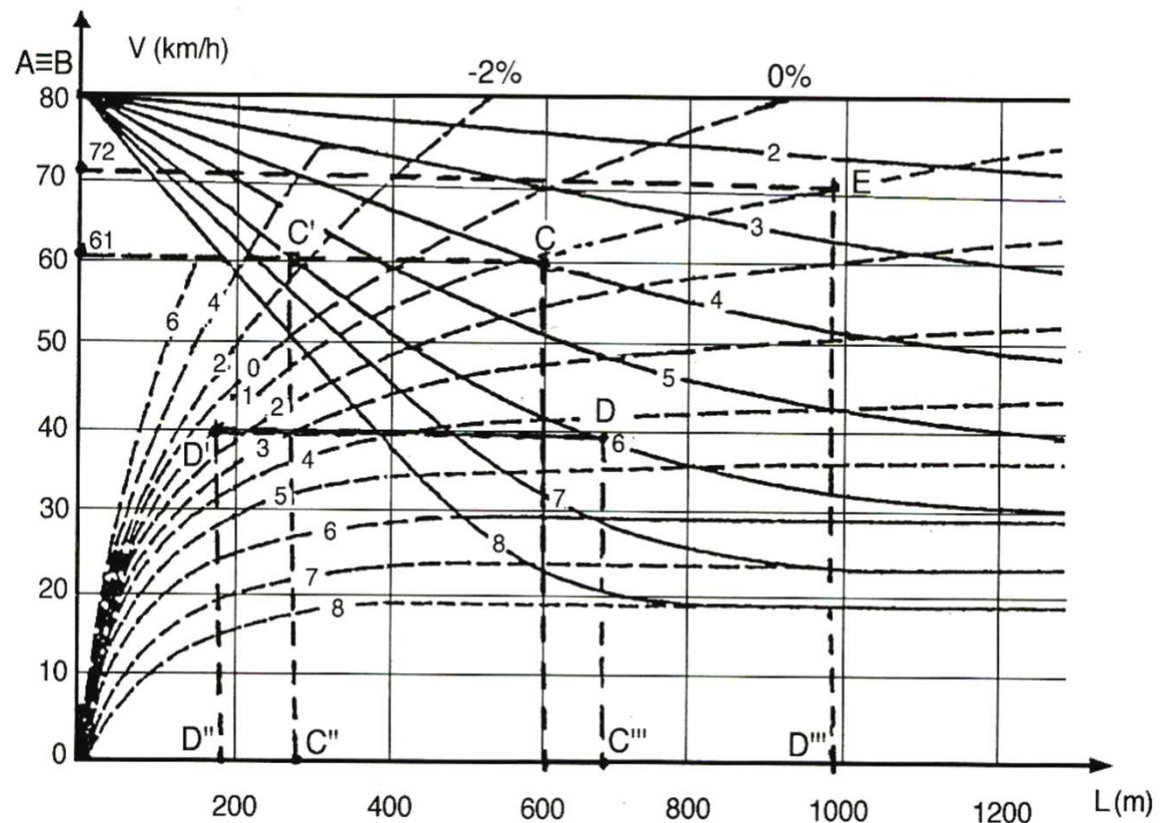
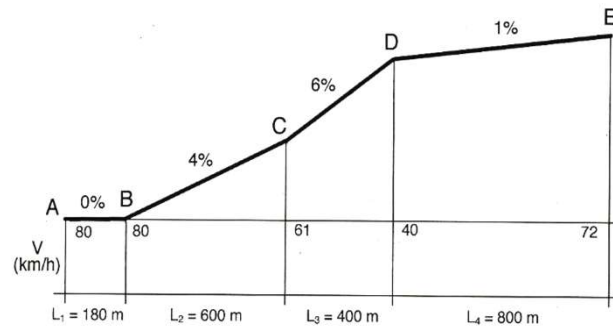
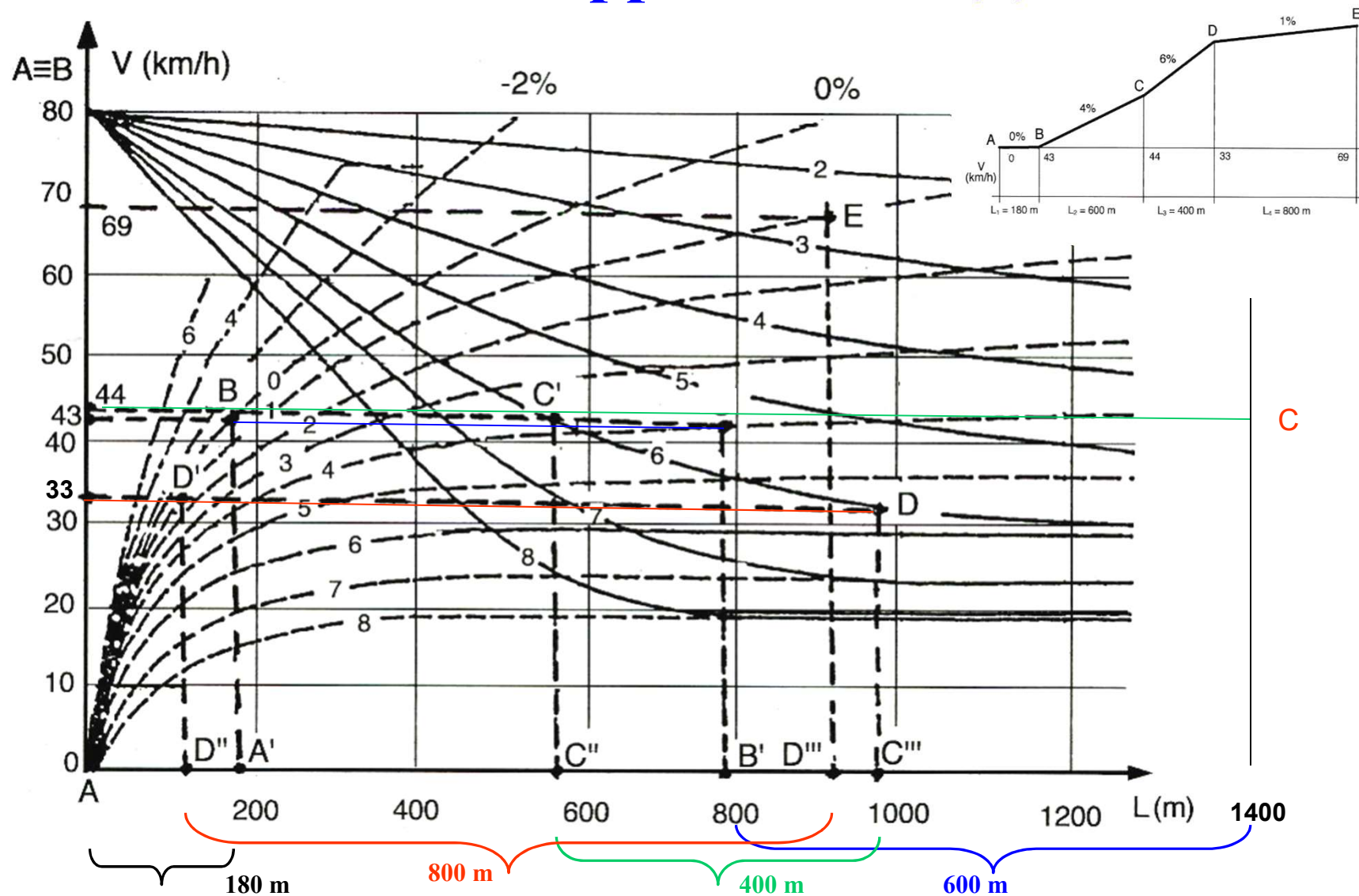


Exhibit 3-59. Speed-Distance Curves for a Typical Heavy Truck of 120 kg/kW [200 lb/hp] for Deceleration on Upgrades

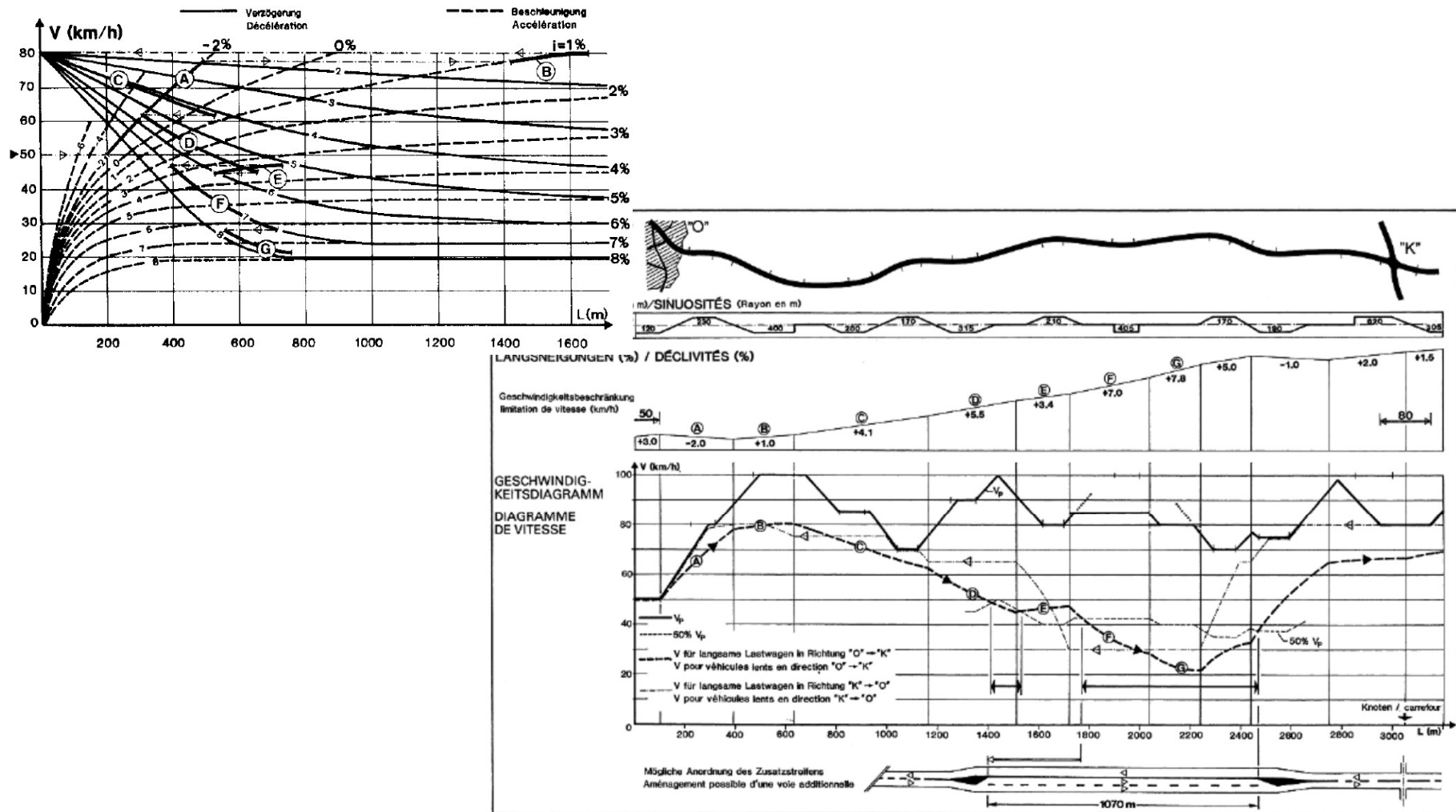
Corsie supplementari (4)



Corsie supplementari (5)

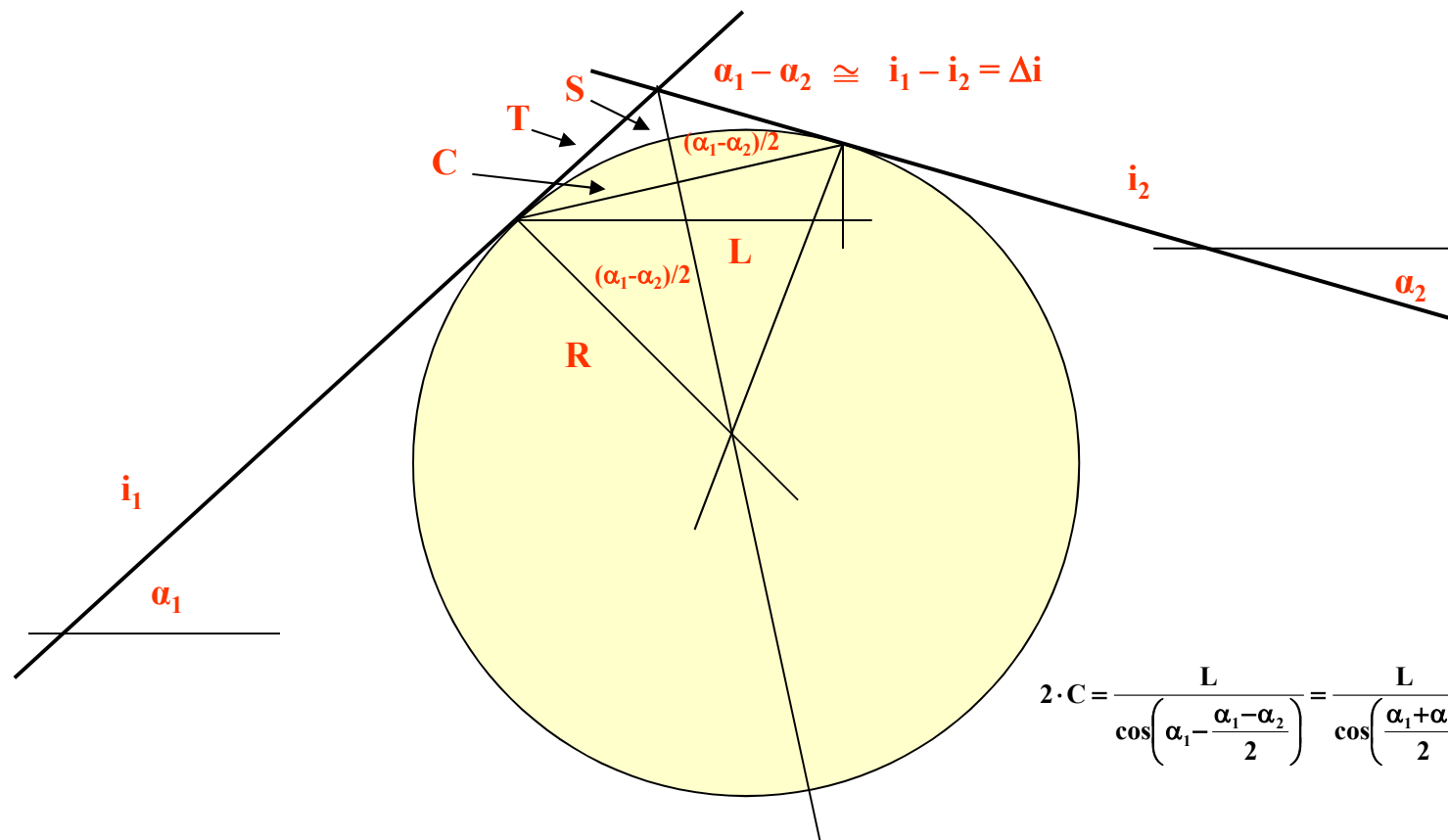


Corsie supplementari (6)



I raccordi con arco di cerchio (1)

$$S = R \cdot (\alpha_1 - \alpha_2) \cong 2 \cdot C = 2 \cdot R \cdot \sin\left(\frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2}\right) \cong 2 \cdot T = 2 \cdot R \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2}\right) \cong 2 \cdot R \cdot \frac{\operatorname{tg}(\alpha_1 - \alpha_2)}{2} \cong R \cdot (\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2) = R \cdot \Delta i$$



$$2 \cdot C = \frac{L}{\cos\left(\alpha_1 - \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2}\right)} = \frac{L}{\cos\left(\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}\right)} \cong L = R \cdot \Delta i$$

I raccordi con arco di cerchio (2)

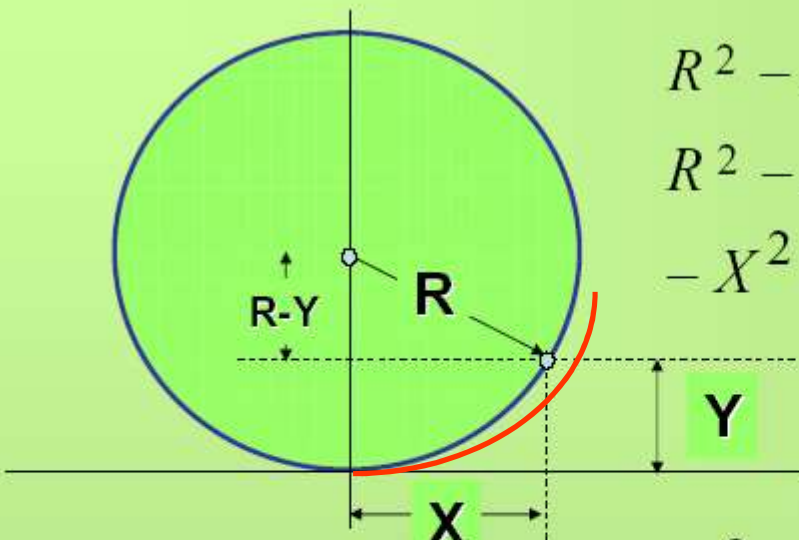


Diagram illustrating the geometry of a circular arc with radius R . The center of the circle is at a vertical distance $R-Y$ from the horizontal baseline. A point on the arc is at a horizontal distance X and a vertical distance Y from the baseline. The diagram shows the geometric relationship between R , X , Y , and $R-Y$.

$$R^2 - X^2 = (R - Y)^2$$
$$R^2 - X^2 = R^2 - 2RY + Y^2$$
$$-X^2 = -2RY + Y^2$$

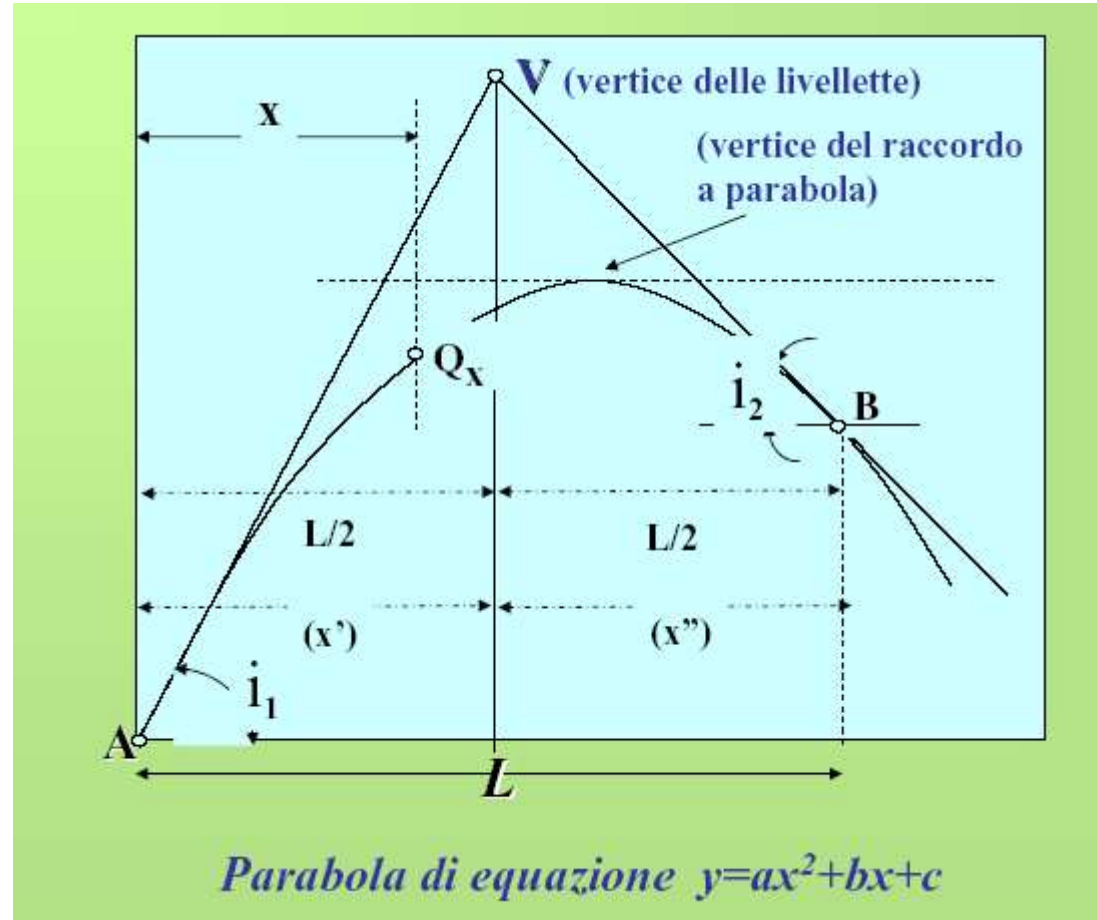
Trascurando Y^2 rispetto a $2RY$

$$X^2 = 2RY - Y^2 \approx 2RY$$

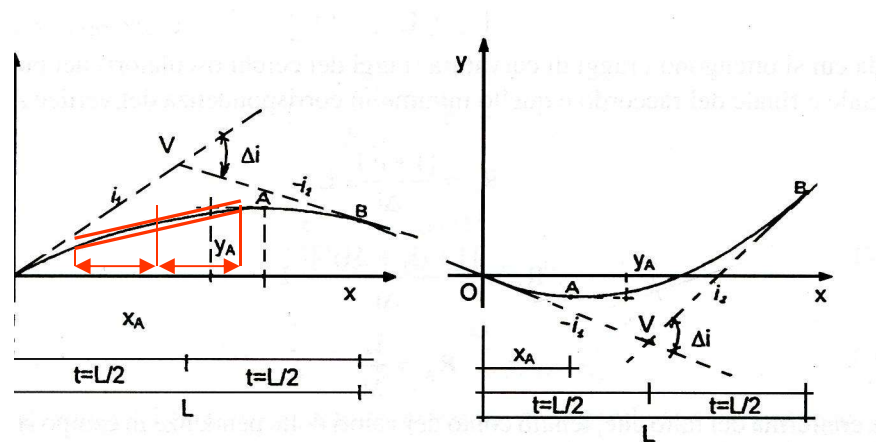
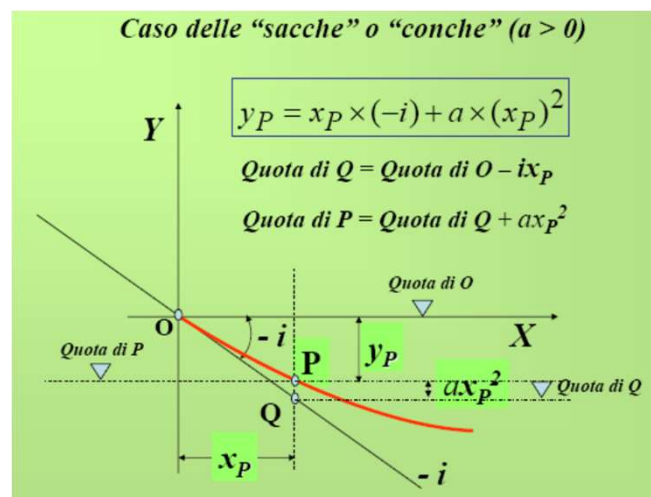
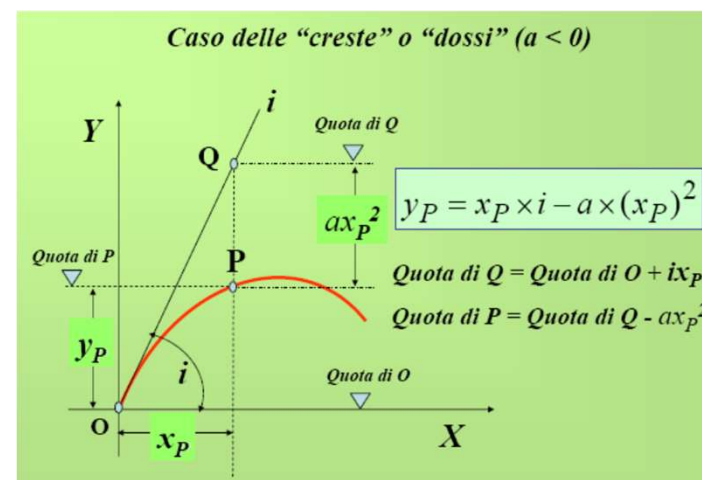
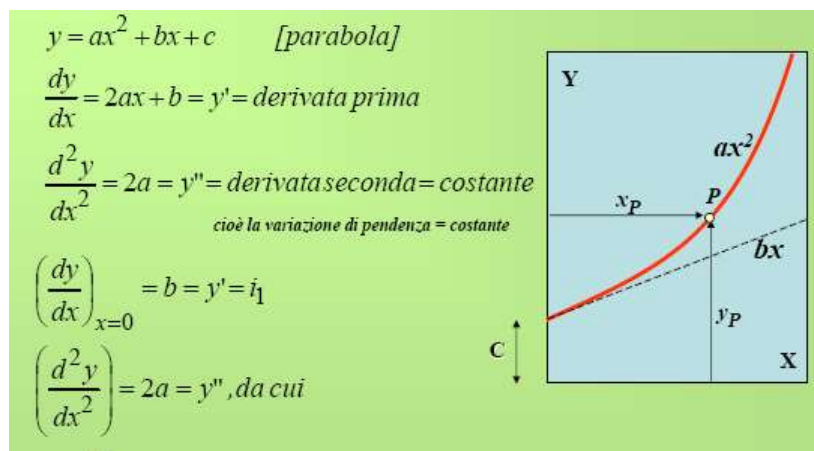
ovvero: $Y \cong \frac{X^2}{2R}$

$$Y \cong \frac{X^2}{2R}$$

I raccordi con arco di parabola (1)

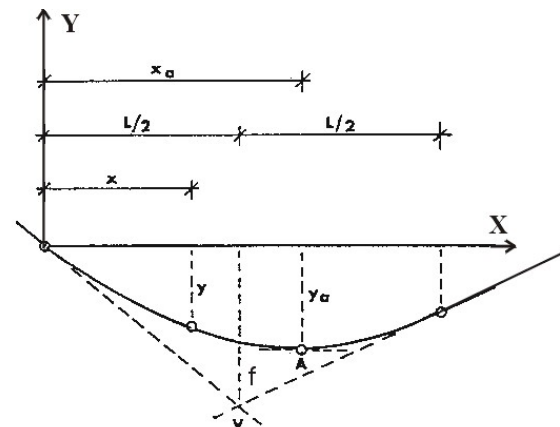
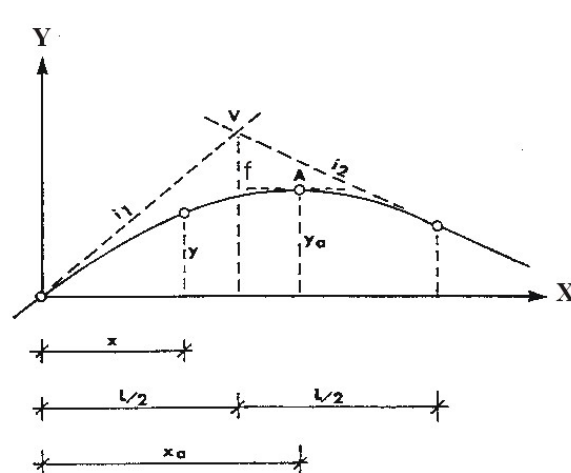


I raccordi con arco di parabola (2)



I raccordi con arco di parabola (2)

Il tracciamento con un arco di cerchio risulta poco pratico poiché la verticale passante per il punto di incontro delle due livellette solo in casi particolari coincide con la bisettrice dell'angolo, per questi motivi si preferisce utilizzare la parabola come raccordo.



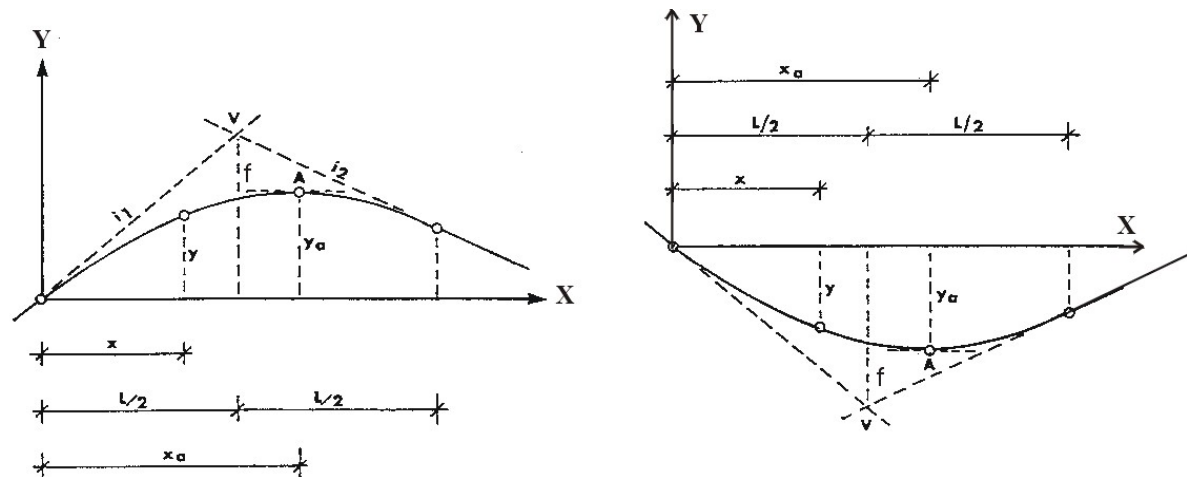
$$y = b x - a x^2$$

$$\frac{dy}{dx} = b - 2 \cdot a \cdot x$$

$$\frac{i_1}{100} = \left(\frac{dy}{dx} \right)_{x=0} = b$$

$$\frac{i_2}{100} = \left(\frac{dy}{dx} \right)_{x=L} = b - 2 \cdot a \cdot L = \frac{i_1}{100} - 2 \cdot a \cdot L \quad 2 \cdot a \cdot L = \frac{i_1}{100} - \frac{i_2}{100} = \frac{\Delta i}{100} \quad y = \frac{i_1}{100} \cdot x - \frac{\Delta i}{200 \cdot L} \cdot x^2$$

I raccordi con arco di parabola (4)



$$y = \frac{i_1}{100} \cdot x - \frac{\Delta i}{200 \cdot L} \cdot x^2$$

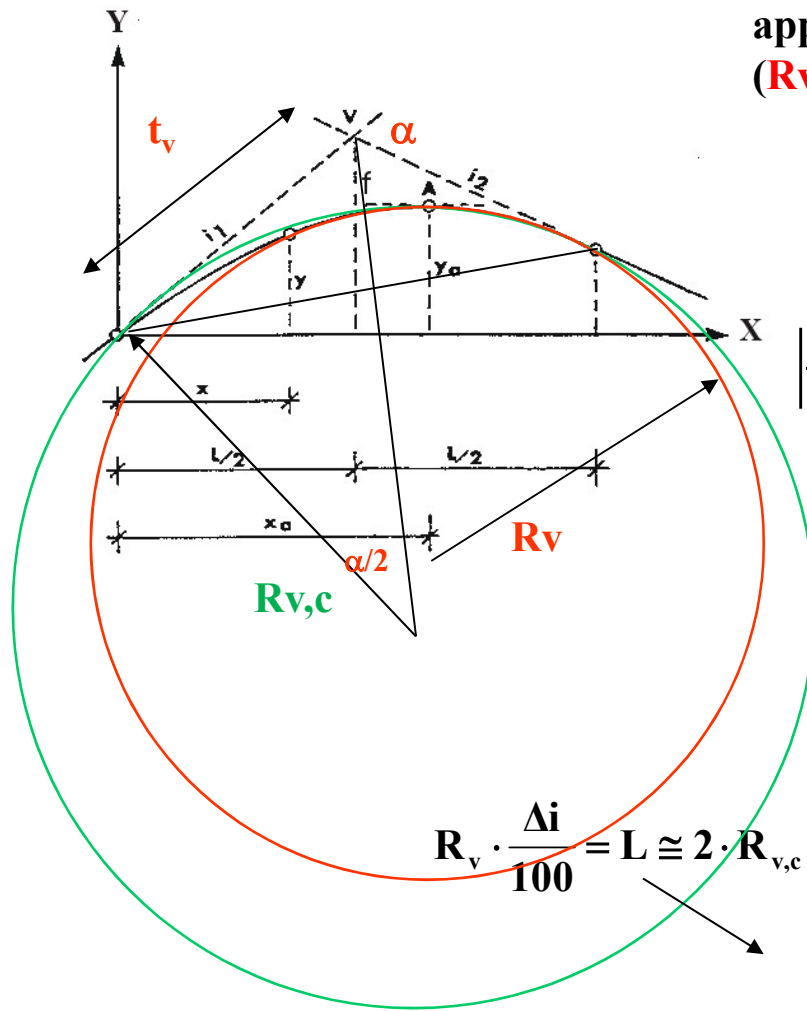
$$\left(\frac{dy}{dx} \right)_{x=x_A} = \frac{i_1}{100} - \frac{\Delta i}{100 \cdot L} \cdot x_A$$

$$x_A = \frac{i_1}{\Delta i} \cdot L$$

$$y_A = \frac{i_1}{100} \cdot x_A - \frac{\Delta i}{200 \cdot L} \cdot x_A^2$$

I raccordi con arco di parabola (3)

Il raggio di un raccordo verticale circolare ($R_{v,c}$) è approssimabile al raggio del cerchio osculatore (R_v) nel vertice della parabola (A).



$$y = \frac{i_1}{100} \cdot x - \frac{\Delta i}{200 \cdot L} \cdot x^2$$

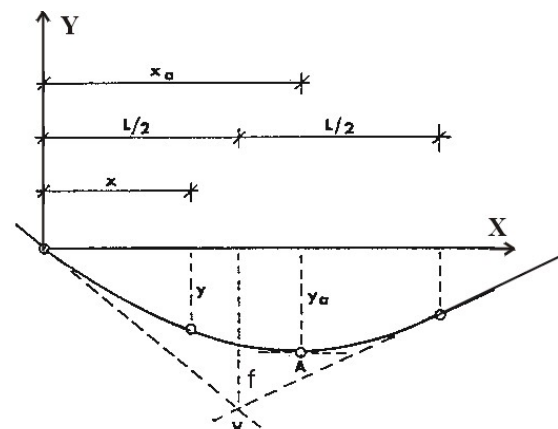
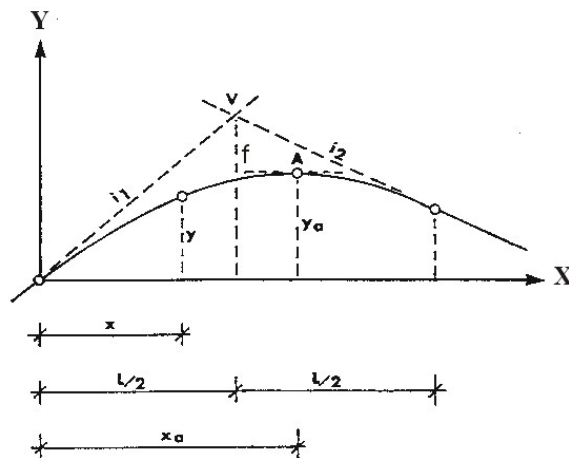
$$\left| \frac{1}{R_v} \right| = \left| \frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{\left(1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right)^{3/2}} \right| = \left| \frac{\frac{\Delta i / 100}{L}}{\left(1 + \left(\frac{i_1}{100} - \frac{\Delta i}{100 \cdot L} \cdot x_A \right)^2 \right)^{3/2}} \right| = \left| \frac{\Delta i / 100}{L} \right|$$

$$x_A = \frac{i_1 / 100}{\Delta i / 100} \cdot L$$

$$R_v \cdot \frac{\Delta i}{100} = L \cong 2 \cdot R_{v,c} \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cong 2 \cdot t_v = 2 \cdot R_{v,c} \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \cong 2 \cdot R_{v,c} \cdot \frac{\tan \alpha}{2} = R_{v,c} \cdot \frac{\Delta i}{100}$$

$$L = R_v \cdot \frac{\Delta i}{100} \cong R_{v,c} \cdot \frac{\Delta i}{100}$$

I raccordi con arco di parabola (4)

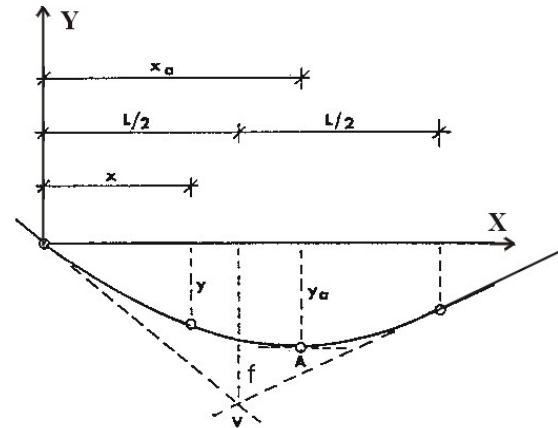
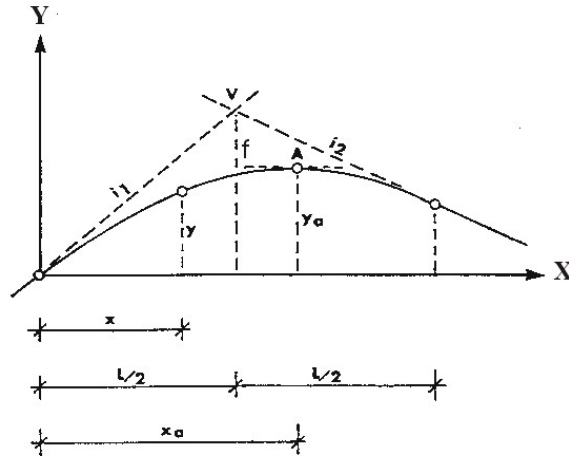


$$y = \frac{i_1}{100} \cdot x - \frac{\Delta i}{200 \cdot L} \cdot x^2$$

$$\left. \begin{array}{l} x_A = \frac{i_1}{\Delta i} \cdot L \\ L = R_v \cdot \frac{\Delta i}{100} \end{array} \right\} x_A = \frac{i_1}{\Delta i} \cdot L = \frac{i_1}{100} \cdot R_v$$

$$\left. \begin{array}{l} a = \frac{\Delta i}{200 \cdot L} \\ L = R_v \cdot \frac{\Delta i}{100} \end{array} \right\} a = \frac{1}{2 \cdot R_v}$$

I raccordi con arco di parabola (5)



$$y = \frac{i_1}{100} \cdot x - \frac{\Delta i}{200 \cdot L} \cdot x^2$$

$$f = \frac{i_1}{100} \cdot \frac{L}{2} - \left(\frac{i_1}{100} \cdot \frac{L}{2} - \frac{\Delta i}{200 \cdot L} \cdot \frac{L^2}{4} \right) = \frac{\Delta i}{100} \cdot \frac{L}{8}$$

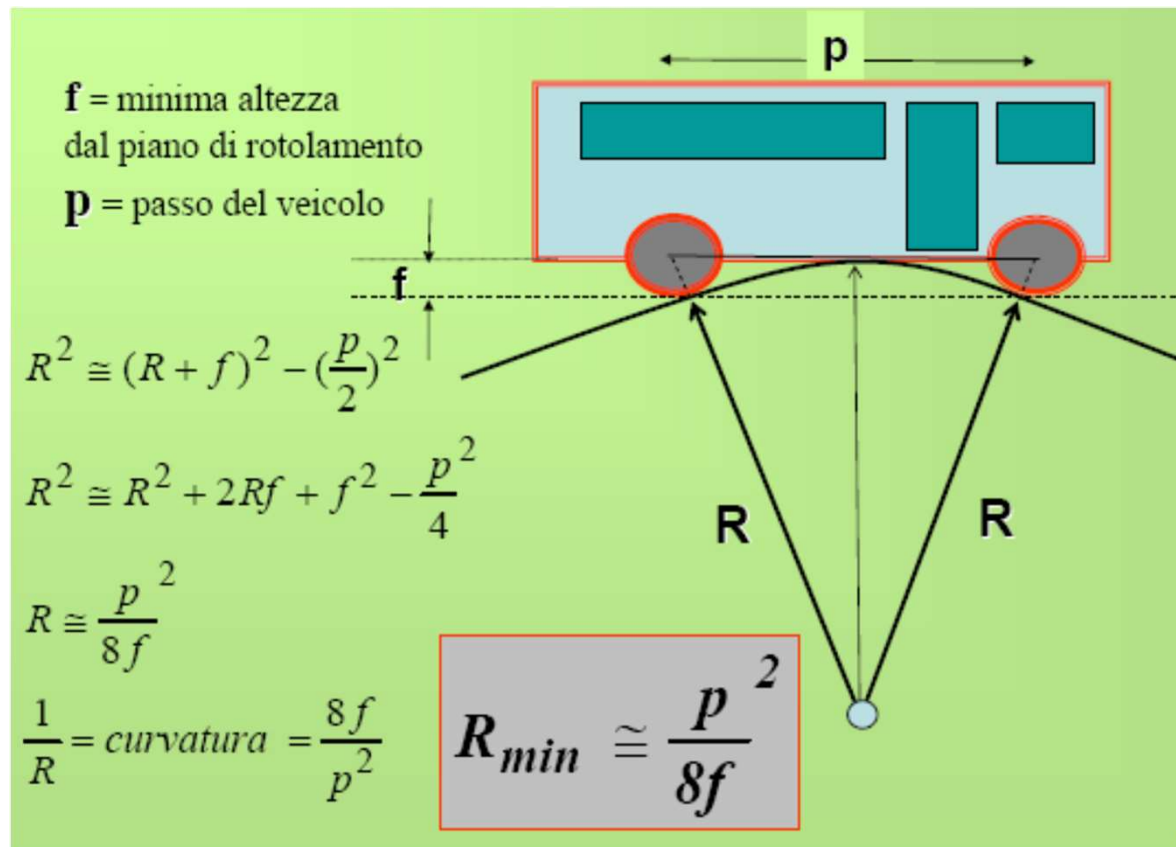
$$L = R_v \cdot \frac{\Delta i}{100}$$

$$f = \frac{R_v}{8} \cdot \left(\frac{\Delta i}{100} \right)^2$$

I raccordi verticali (1)

Il valore minimo del raggio R_v , che definisce la lunghezza del raccordo, deve essere determinato in modo da garantire che nessuna parte del veicolo (eccetto le ruote) abbia contatti con la superficie stradale;

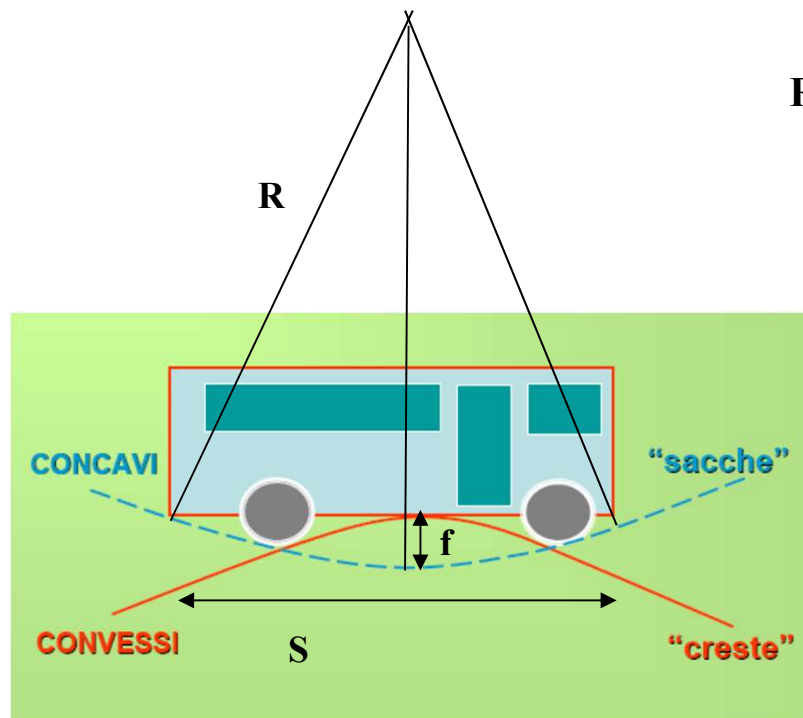
ciò comporta: $R_v \geq R_{v \text{ min}} = 20 \text{ m}$ nei dossi;



I raccordi verticali (2)

Il valore minimo del raggio R_v , che definisce la lunghezza del raccordo, deve essere determinato in modo da garantire che nessuna parte del veicolo (eccetto le ruote) abbia contatti con la superficie stradale;

ciò comporta: $R_v \geq R_v \text{ min} = 40 \text{ m}$ nelle sacche



$$R^2 - \left(\frac{S}{2}\right)^2 \cong (R - f)^2 = R^2 - 2Rf + \cancel{f^2}$$

$$R_{\min} \cong \frac{S^2}{8 \cdot f}$$

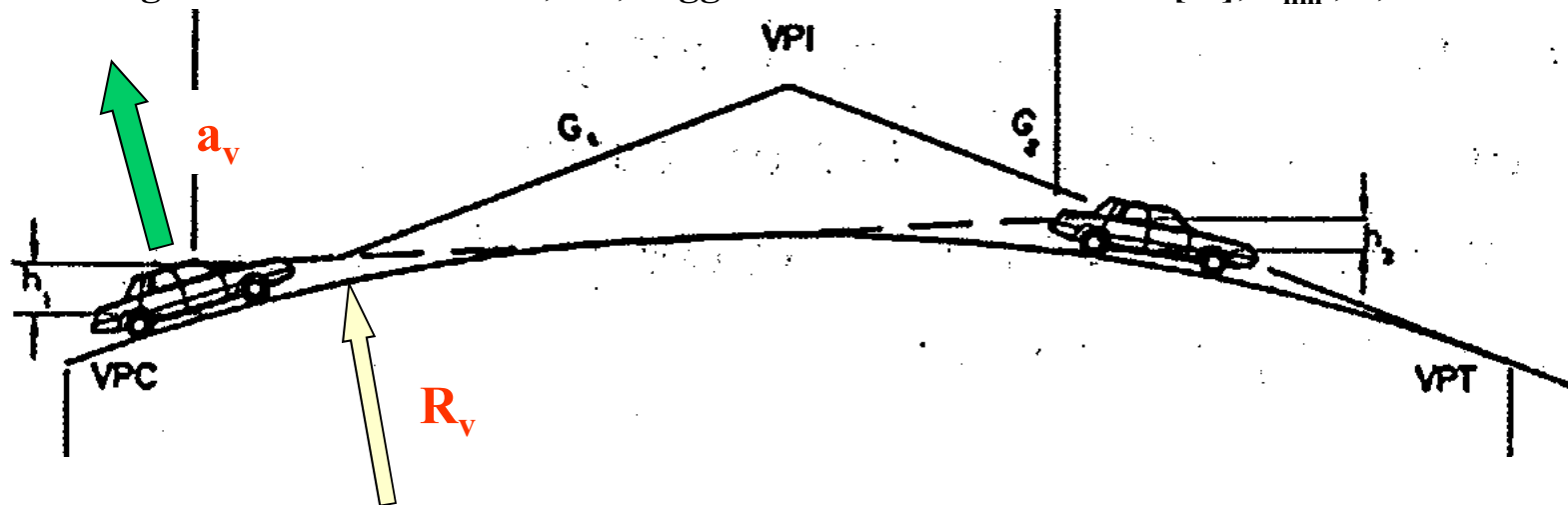
I raccordi verticali (3)

Il valore minimo del raggio R_v , che definisce la lunghezza del raccordo, deve essere determinato in modo da garantire:

- che per il comfort dell'utenza l'accelerazione verticale a_v non superi il valore a_{lim} ; si ha

$$a_v = \frac{v_p^2}{R_v} \leq a_{lim}$$

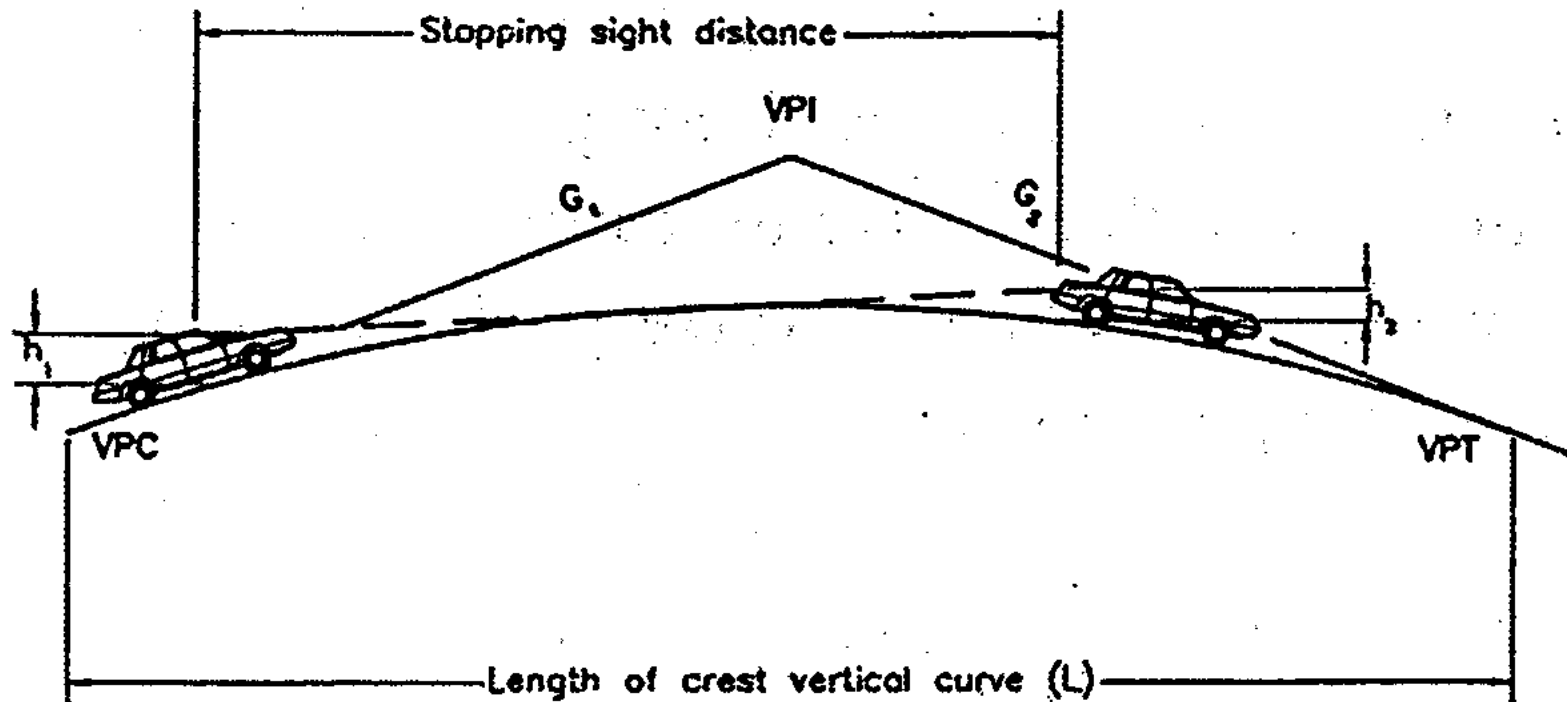
dove: v_p , velocità di progetto della curva [m/s], desunta puntualmente dal diagramma delle velocità; R_v , raggio del raccordo verticale [m]; a_{lim} , 0,6 m/s²



I raccordi verticali (4)

Il valore minimo del raggio R_v , che definisce la lunghezza del raccordo, deve essere determinato in modo da garantire:

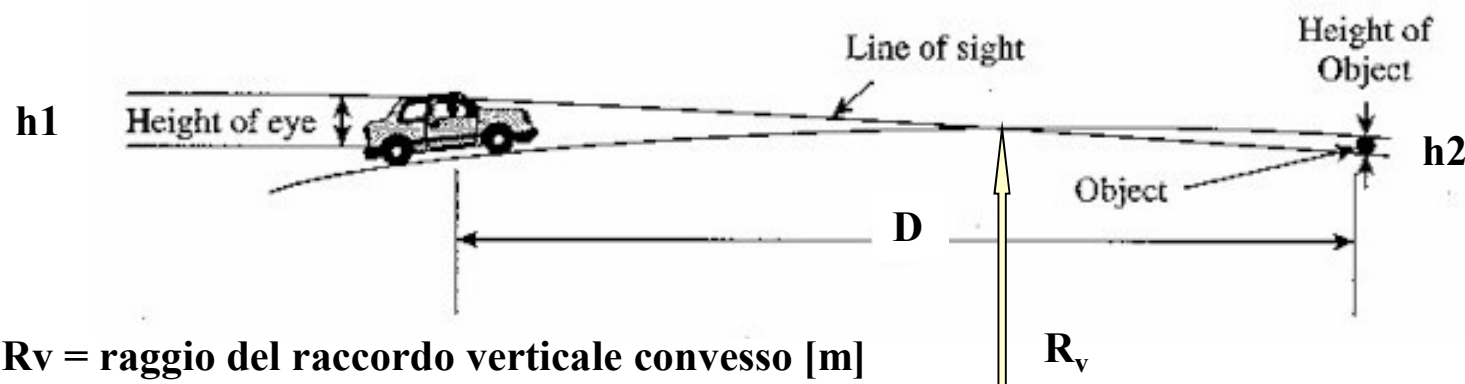
- che vengano garantite le visuali libere



I raccordi verticali (5)



I raccordi verticali convessi (1)



R_v = raggio del raccordo verticale convesso [m]

D = distanza di visibilità da realizzare [m]

Δi = variazione di pendenza delle due livellette, espressa in %

h_1 = altezza sul piano stradale dell'occhio del conducente [m]

h_2 = altezza dell'ostacolo [m]

$L = R_v * (\Delta i / 100) =$ sviluppo del raccordo verticale

Si pone di norma $h_1 = 1,10$ m. In caso di visibilità per l'arresto di un veicolo di fronte ad un ostacolo fisso, si pone $h_2 = 0,10$ m. In caso di visibilità necessaria per il sorpasso si pone $h_2 = 1,10$ m.

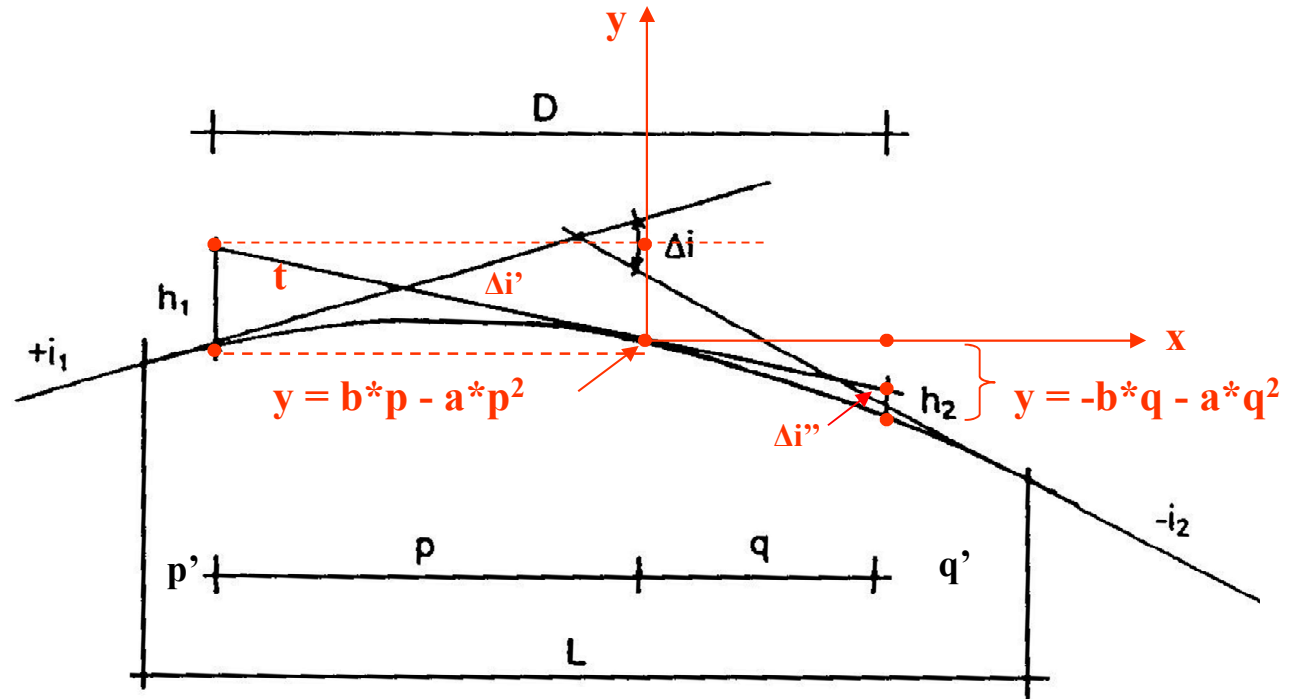
I raccordi verticali convessi (2)

Caso in cui $D < L$ (raccordo con parabola)

$$y = -b*(-p) - a*(-p)^2$$

$$y = -b*q - a*q^2$$

$$h_1 = a * p^2 \quad h_2 = a * q^2$$



Si ricorda che:

$$\Delta i'' = -i_2 - (-t) \quad \Delta i' = -t - (+i_1) \quad a = \left| \frac{\Delta i}{2 \cdot L} \right| = \left| \frac{\Delta i''}{2 \cdot (q' + q)} \right| = \left| \frac{\Delta i'}{2 \cdot (p' + p)} \right|$$

I raccordi verticali convessi (3)

Caso in cui $D < L$ (raccordo con parabola)

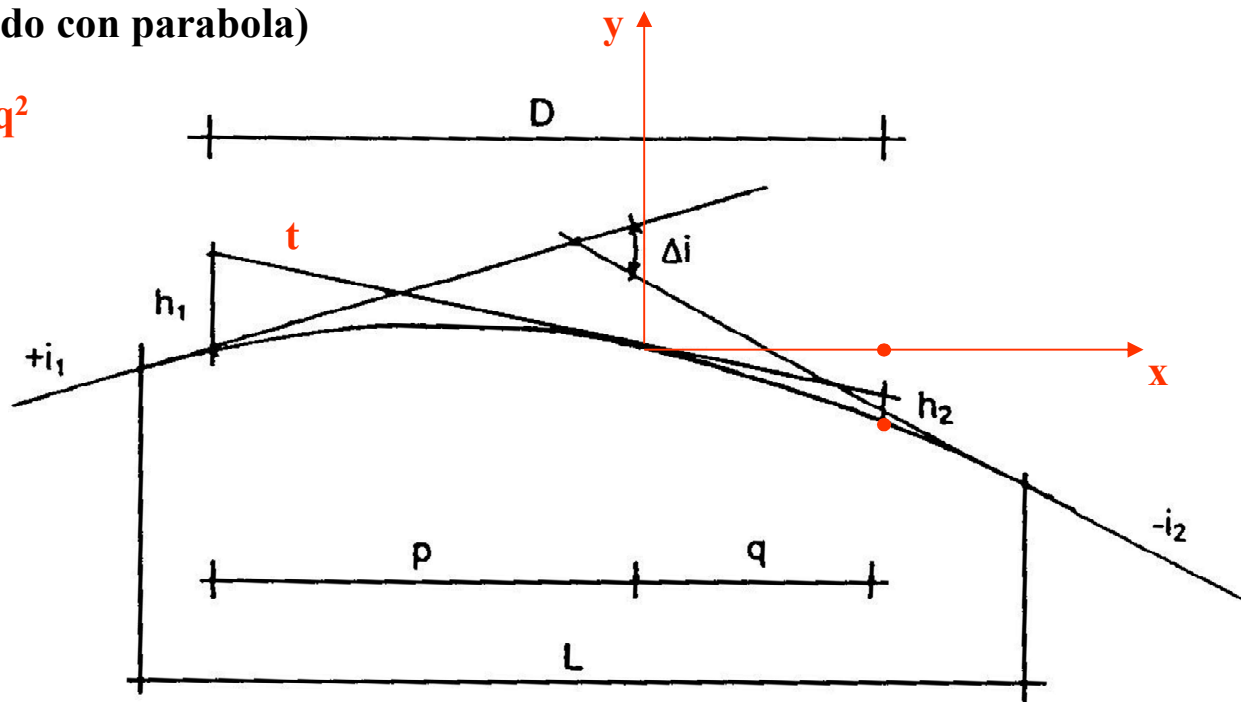
$$h_1 = a \cdot p^2$$

$$h_2 = a \cdot q^2$$

$$D = p + q = \frac{1}{\sqrt{a}} \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

$$a = \frac{\Delta i / 100}{2 \cdot L}$$

$$D = \sqrt{\frac{2 \cdot L}{\Delta i / 100}} \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$



$$L = \frac{D^2 \cdot \Delta i / 100}{2 \cdot (h_1 + h_2 + 2 \times \sqrt{h_1 \times h_2})}$$

$$L = R_v \cdot \frac{\Delta i}{100}$$

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

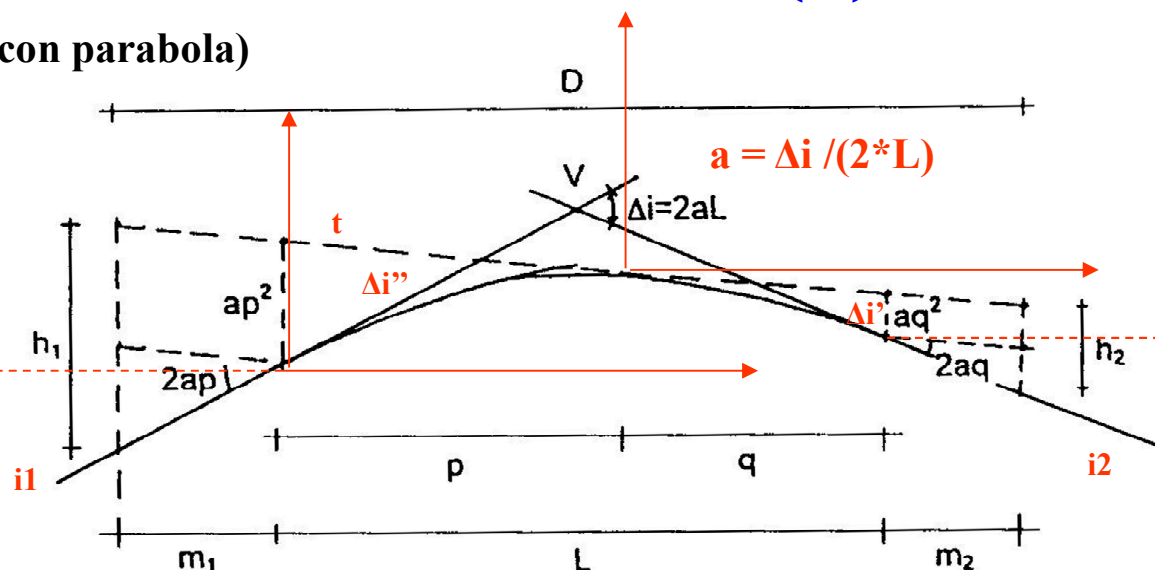
I raccordi verticali convessi (4)

Caso in cui $D > L$ (raccordo con parabola)

$$a = \Delta i / (2 * L) = \Delta i' / (2 * q)$$

$$2 * a * q = \Delta i' = i_2 - t$$

$$2 * a * q * m_2 = \Delta i' * m_2 = (i_2 - t) * m_2$$



$$a = \Delta i / (2 * L) = \Delta i'' / (2 * p)$$

$$2 * a * p = \Delta i'' = i_1 - (-t)$$

$$2 * a * p * m_1 = \Delta i'' * m_1 = (i_1 + t) * m_1$$

$$h_1 = a * p^2 + 2 * a * p * m_1$$

$$h_2 = a * q^2 + 2 * a * q * m_2$$

I raccordi verticali convessi (5)

Caso in cui $D > L$ (raccordo con parabola)

$$h_1 = a \cdot p^2 + 2 \cdot a \cdot p \cdot m_1$$

$$h_2 = a \cdot q^2 + 2 \cdot a \cdot q \cdot m_2$$

$$D = m_1 + L + m_2 = \frac{h_1}{2 \cdot a \cdot p} + \frac{h_2}{2 \cdot a \cdot (L - p)} + \frac{L}{2}$$

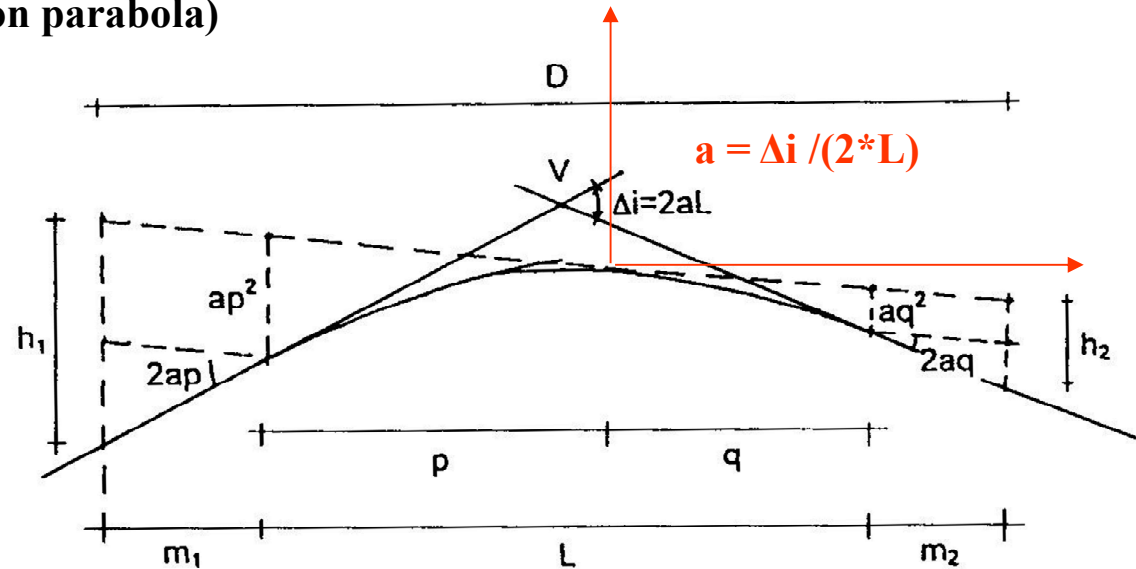
$$\frac{\partial D}{\partial p} = -\frac{h_1}{2 \cdot a \cdot p^2} + \frac{h_2}{2 \cdot a \cdot (L - p)^2} = 0$$

$$-h_1 \cdot 2 \cdot a \cdot (L - p)^2 + h_2 \cdot 2 \cdot a \cdot p^2 = 0$$

$$(h_1 - h_2) \cdot p^2 - 2 \cdot h_1 \cdot L \cdot p + h_1 \cdot L^2 = 0$$

$$p = \frac{h_1 \cdot L \pm \sqrt{h_1^2 \cdot L^2 - (h_1 - h_2) \cdot h_1 \cdot L^2}}{h_1 - h_2} = \frac{h_1 \cdot L \pm L \cdot \sqrt{h_1 \cdot h_2}}{h_1 - h_2}$$

$$p = L \cdot \frac{\sqrt{h_1} \cdot \sqrt{h_1} - \sqrt{h_1} \cdot \sqrt{h_2}}{(\sqrt{h_1} - \sqrt{h_2}) \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})} = L \cdot \sqrt{h_1} \cdot \frac{\sqrt{h_1} - \sqrt{h_2}}{(\sqrt{h_1} - \sqrt{h_2}) \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})} = \frac{L}{1 + \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}}$$



I raccordi verticali convessi (6)

Caso in cui $D > L$ (raccordo con parabola)

$$\mathbf{p} = \frac{\mathbf{L}}{1 + \sqrt{\frac{\mathbf{h}_2}{\mathbf{h}_1}}}$$

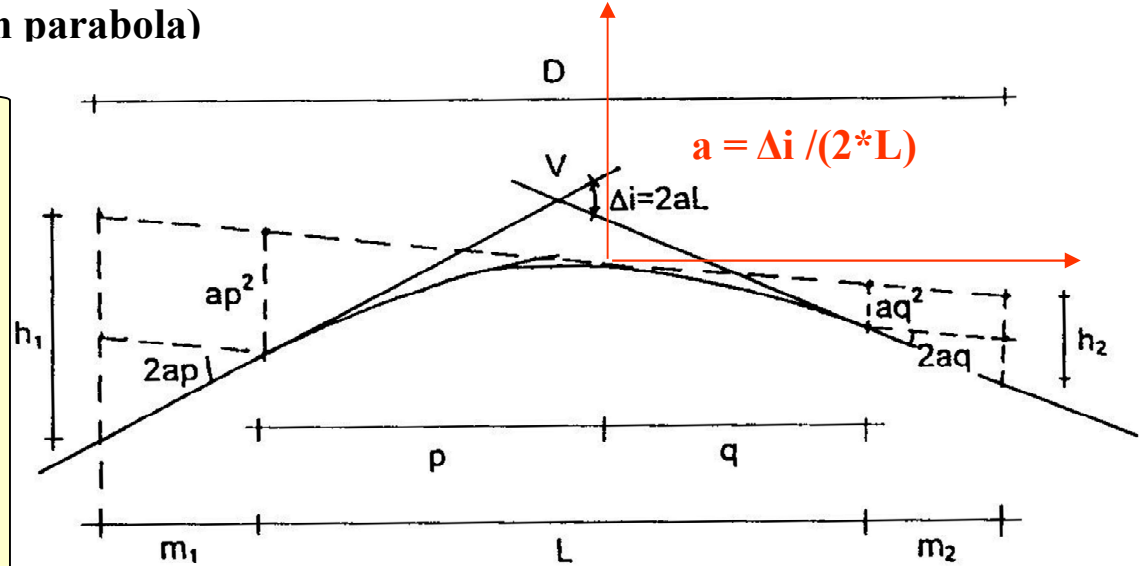
$$\mathbf{q} = \mathbf{L} - \mathbf{p} = \mathbf{p} \cdot \sqrt{\frac{\mathbf{h}_2}{\mathbf{h}_1}}$$

$$2 \cdot a = \frac{\Delta i}{100 \cdot L}$$

$$D = m_1 + L + m_2 = \frac{h_1}{2 \cdot a \cdot p} + \frac{h_2}{2 \cdot a \cdot (L - p)} + \frac{L}{2}$$

$$\mathbf{L} = 2 \cdot \left[\mathbf{D} - 100 \cdot \frac{\mathbf{h}_1 + \mathbf{h}_2 + 2 \cdot \sqrt{\mathbf{h}_1 \cdot \mathbf{h}_2}}{\Delta \mathbf{i}} \right]$$

$$\mathbf{L} = \frac{\Delta \mathbf{i}}{100} \cdot \mathbf{R}_v$$



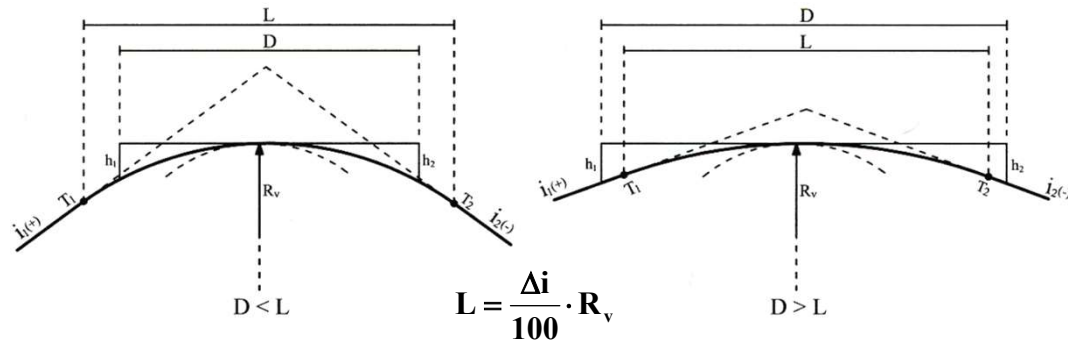
$$\mathbf{D} = \frac{\mathbf{L}}{2} + \left[100 \cdot \frac{\mathbf{h}_1 + \mathbf{h}_2 + 2 \cdot \sqrt{\mathbf{h}_1 \cdot \mathbf{h}_2}}{\Delta \mathbf{i}} \right]$$

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

I raccordi verticali convessi (7)

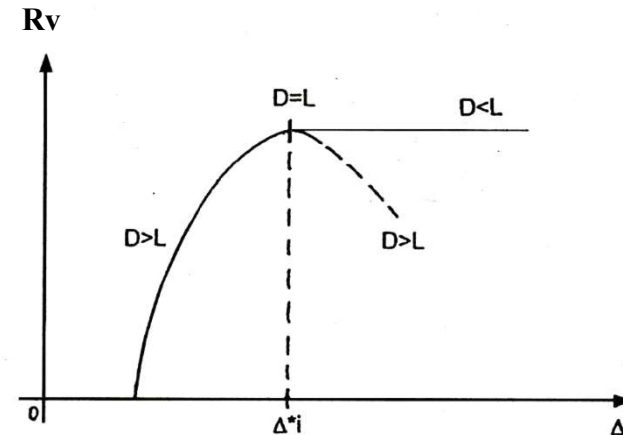
Caso in cui $D < L$

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

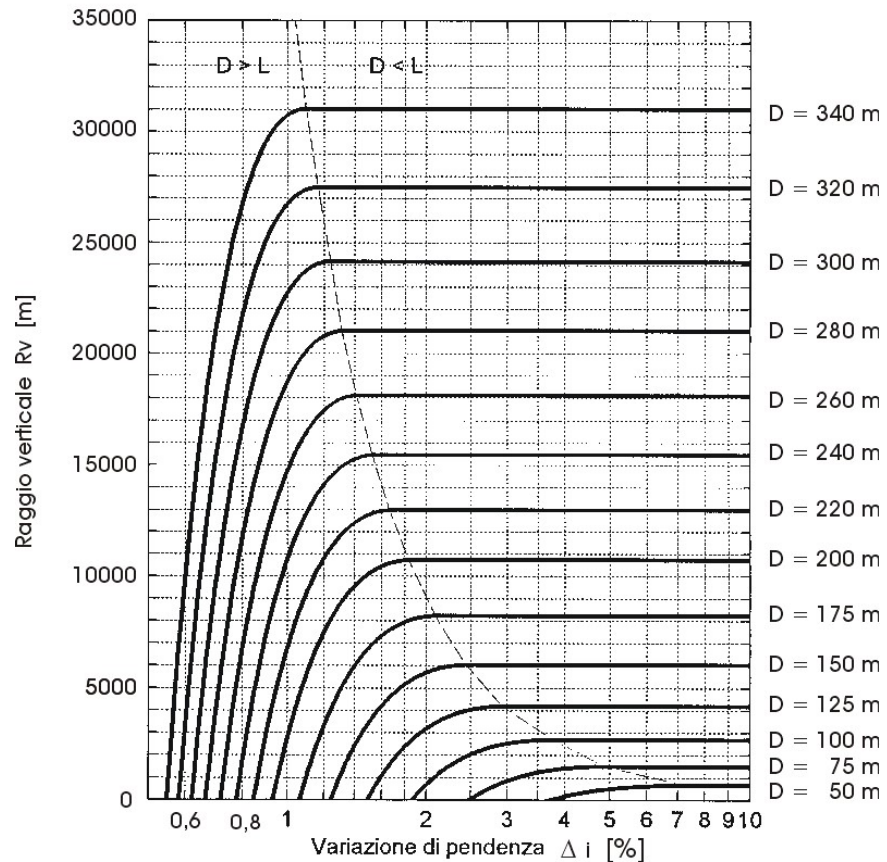


Caso in cui $D > L$

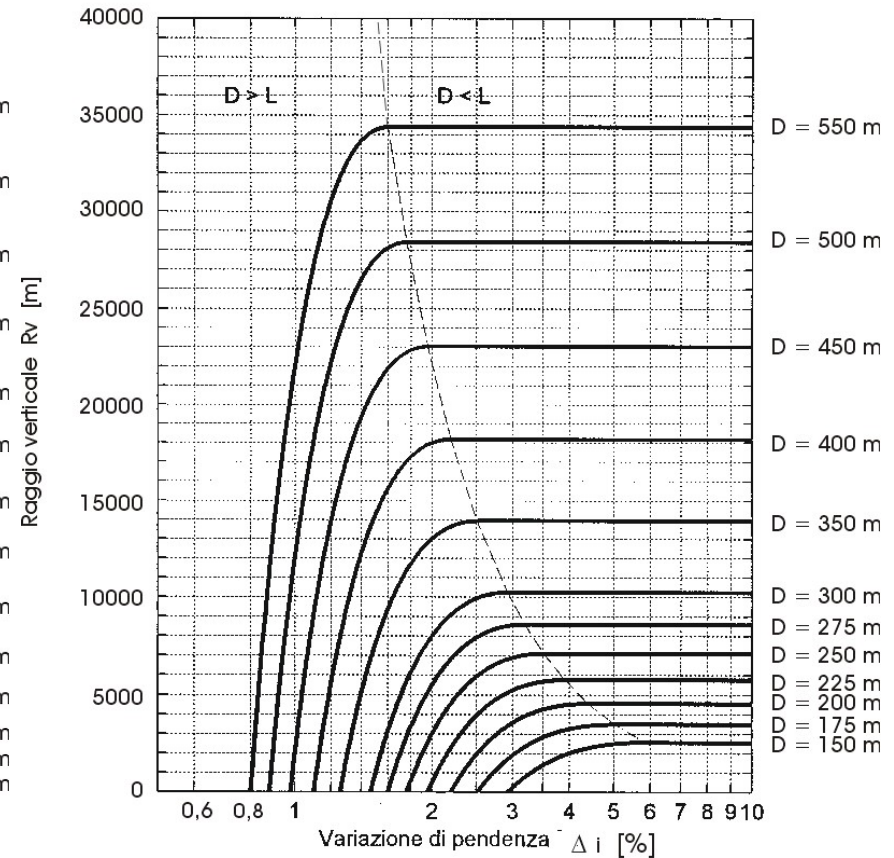
$$R_v = \frac{2 \cdot 100}{\Delta i} \cdot \left[D - 100 \cdot \frac{h_1 + h_2 + 2 \cdot \sqrt{h_1 \cdot h_2}}{\Delta i} \right]$$



I raccordi verticali convessi (8)

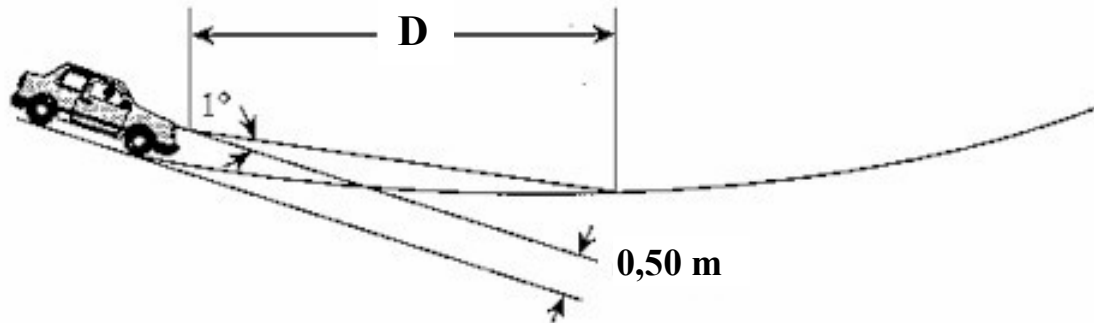


Distanza di arresto



Distanza di sorpasso

I raccordi verticali concavi (1)



R_v = raggio del raccordo verticale concavo [m]

D = distanza di visibilità da realizzare [m]

Δi = variazione di pendenza delle due livellette, espressa in %

h = altezza sul piano stradale dei fari [m]

θ = divergenza verticale del fascio luminoso [°]

$L = R_v * (\Delta i / 100)$ = sviluppo del raccordo verticale

Si pone nella norma italiana $h = 0,50$ m; $\theta = 1^\circ$

I raccordi verticali concavi (2)

Caso in cui $D < L$ (raccordi parabolici)

Proprietà parabola

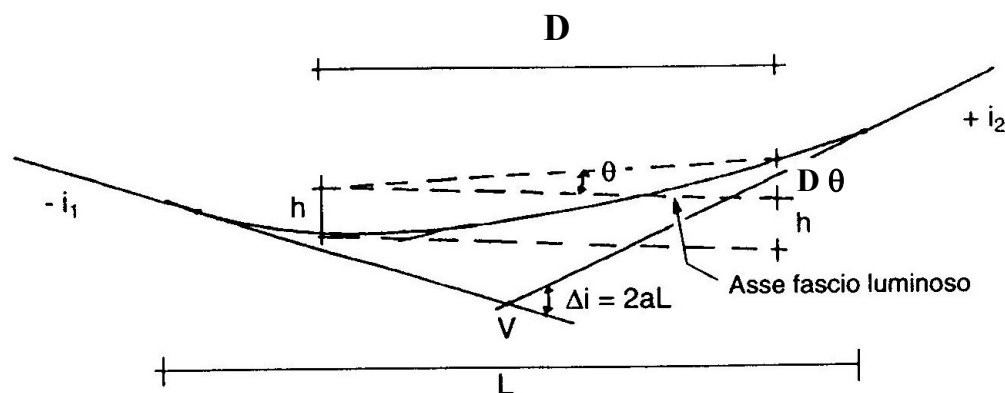
$$h + D \cdot \sin(\theta) \cong h + D \cdot \tan(\theta) \cong h + D \cdot \theta = a \cdot D^2 = \frac{\Delta i / 100}{2L} \cdot D^2$$

$$a = \frac{\Delta i}{2 \cdot 100 \cdot L}$$

$$L = \frac{\Delta i / 100}{2 \cdot (h + D \cdot \sin \theta)} \cdot D^2$$

$$\frac{\Delta i}{2 \cdot 100 \cdot L} = \frac{1}{2 \cdot R_v}$$

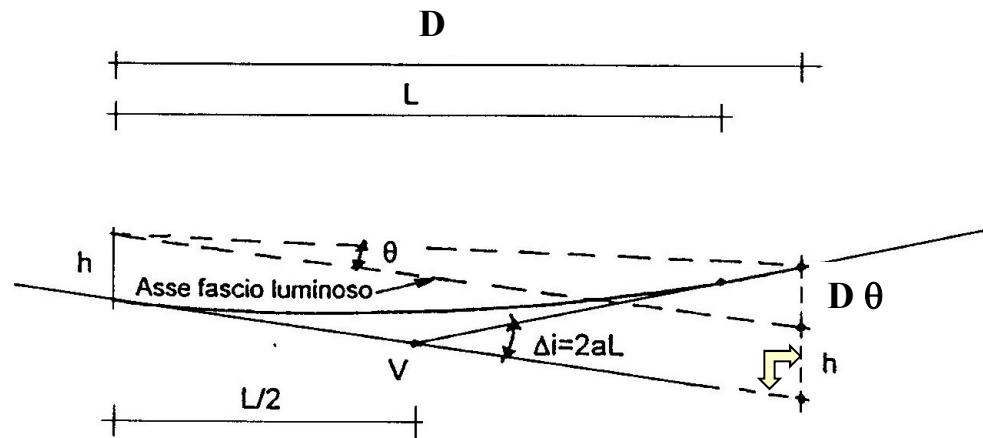
$$R_v = \frac{D^2}{2 \cdot (h + D \cdot \sin \theta)}$$



I raccordi verticali concavi (3)

Caso in cui $D > L$ (raccordi parabolici)

$$h + D \cdot \sin\theta \cong h + D \cdot \theta = \left(D - \frac{L}{2}\right) \cdot \frac{\Delta i}{100}$$



$$L = 2 \left(D - 100 \cdot \frac{h + D \cdot \sin(\theta)}{\Delta i} \right)$$

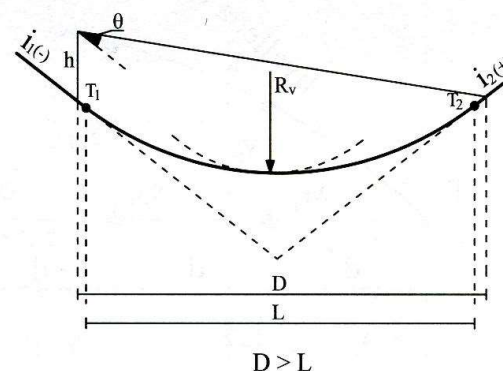
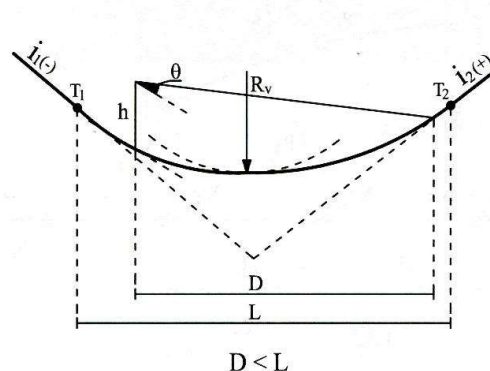
$$R_v = L \cdot \frac{100}{\Delta i}$$

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

I raccordi verticali concavi (4)

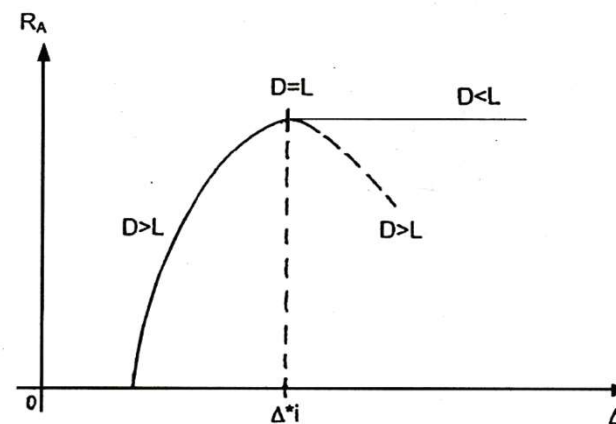
Caso in cui $D < L$

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

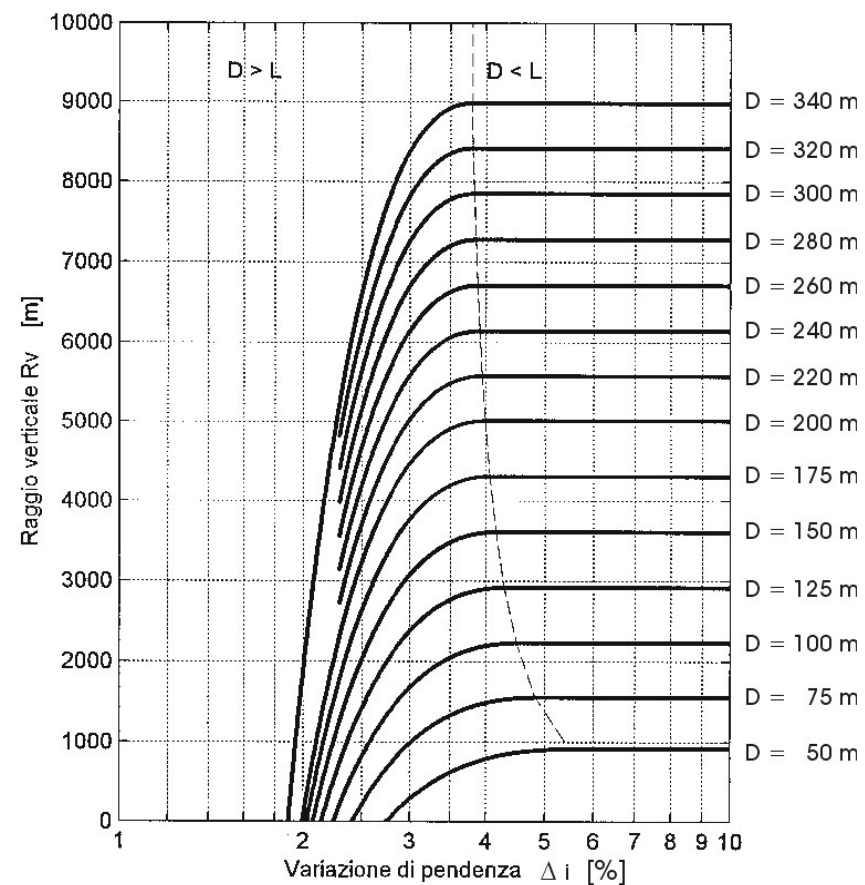


Caso in cui $D > L$

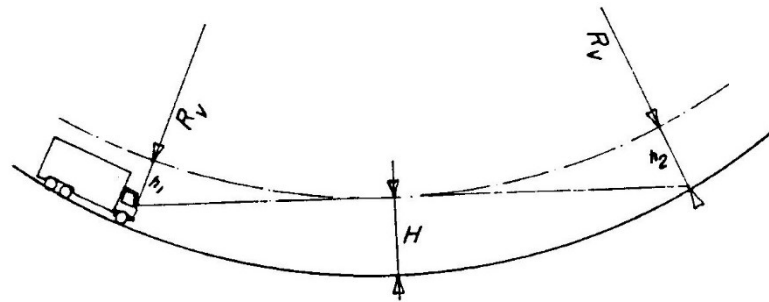
$$R_v = \frac{2 \cdot 100}{\Delta i} \cdot \left[D - \frac{100}{\Delta i} \cdot (h + D \cdot \sin\theta) \right]$$



I raccordi verticali concavi (5)



Visibilità sotto ostacoli

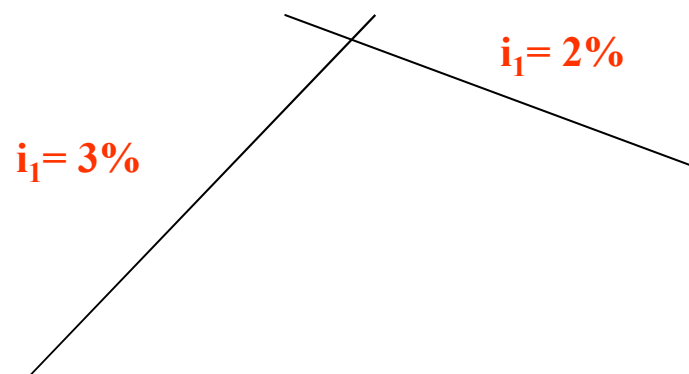


$$R_v = \frac{D^2}{2 \cdot (h_1 + h_2 + 2 \times \sqrt{h_1 \times h_2})}$$

Supponendo $H = 5$ m; $h_1 = H - 2,5 = 2,5$ m; $h_2 = 5 - 0,1 = 4,9$ m

Esempio di calcolo

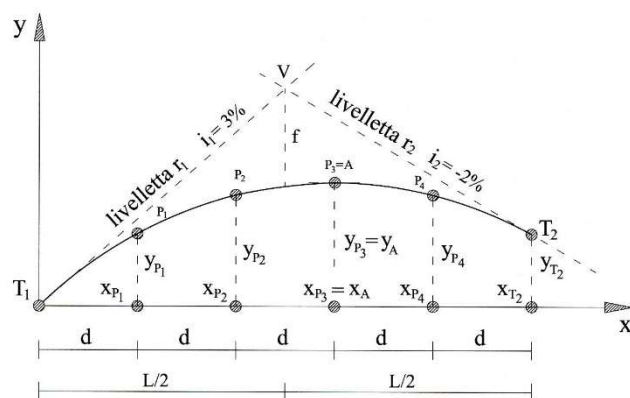
Si dimensioni il raccordo verticale convesso, per le livellette di figura, e si effettui il suo tracciamento. Strada di Tipo “A”, velocità di progetto del tratto 120 km/h



$$x_a = \frac{i_1}{\Delta i} \cdot L$$

$$y_a = \frac{i_1}{100} \cdot x_a - \frac{\Delta i}{200 \cdot L} \cdot x_a^2$$

$$f = \frac{R_v}{8} \cdot \left(\frac{\Delta i}{100} \right)^2$$



PUNTO	COORD. CARTESIANE	
	X (m)	Y (m)
T_1	0,00	0,00
1	270,00	6,75
2	540,00	10,80
3	810,00	12,15
4	1080,00	10,80
T_2	1350,00	6,75

Coordinamento piano altimetrico

Il coordinamento piano-altimetrico è l'operazione consistente nel posizionare, relativamente fra loro (ed eventualmente ridimensionarli), i singoli elementi planimetrici e altimetrici al fine di ottenere nello spazio un tracciato prospetticamente soddisfacente.

L'utente deve:

- **Poter percepire con chiarezza i punti singolari quali: incroci, svicoli, ponti, ecc.;**
- **Avere una visione prospettica del tracciato quanto più realistica possibile: esente cioè da difetti quali distorsioni, punti angolosi, discontinuità;**
- **Poter prevedere costantemente l'evoluzione del tracciato, per cui non devono esservi tratti in cui la strada è occultata alla vista per riapparire a distanza inferiore a quella di focalizzazione.**

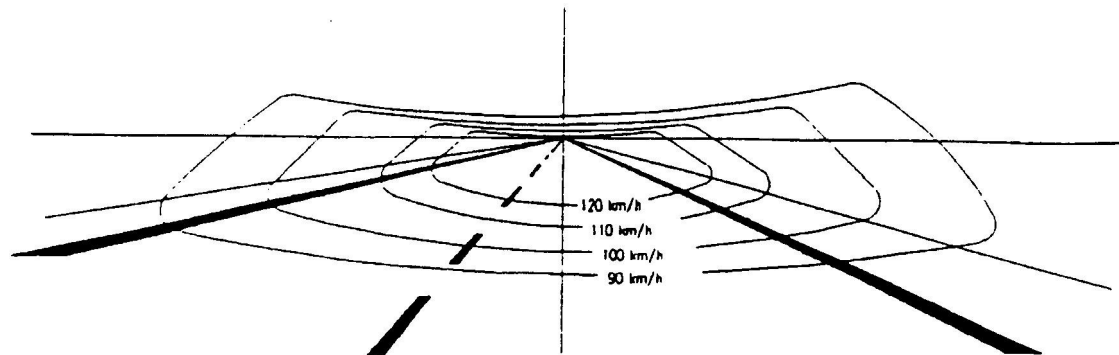
La visione dell'utente

La zona su cui si concentra l'attenzione dell'utente durante la guida si riduce e si sposta in avanti all'aumentare della velocità (spazio di anticipazione).

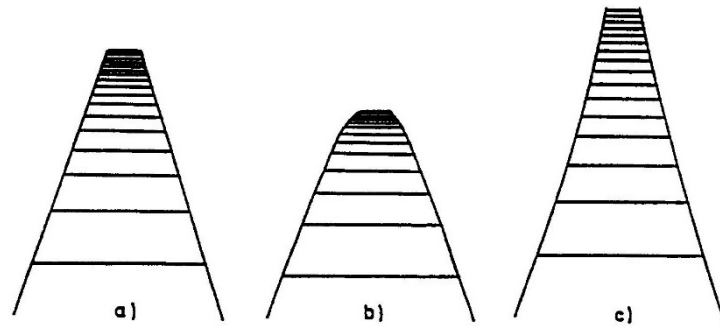
L'utente inoltre può attingere informazioni visive in numero limitato, per cui sia poche che troppe informazioni visive sono nocive alla corretta percezione dello spazio stradale.

Per una buona progettazione si deve far in modo che l'utente riceva dalla strada un numero di informazioni visive congruo con le sua capacità, legate fundamentalmente alla distanza di focalizzazione (distanza su cui concentra la sua attenzione)

Velocità [km/h]	90	100	110	120
Angolo di visione [°]	25	20	16	12
Distanza di focalizzazione [m]	500	600	700	750



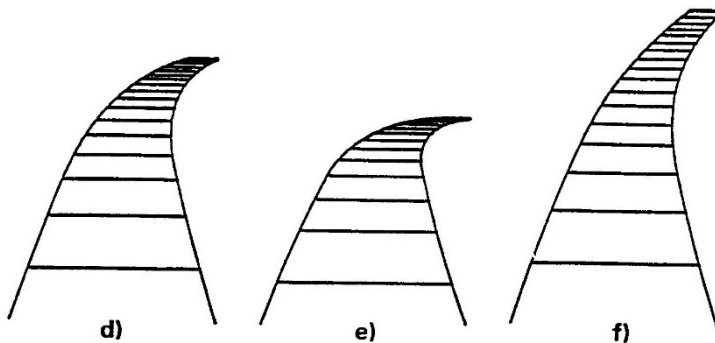
La visione tridimensionale dell'utente



a) horizontal tangent

b) horizontal tangent with superimposed crest vertical curve

c) horizontal tangent with superimposed sag vertical curve



d) horizontal curve

e) horizontal curve with superimposed crest vertical curve

f) horizontal curve with superimposed sag vertical curve

L'uomo è in grado di valutare realmente la tridimensionalità degli oggetti solo fino ad una distanza di 6 metri. Per distanze superiori la tridimensionalità è un processo di tipo cognitivo basato sull'esperienza.

La stessa immagine tridimensionale può essere il frutto di infinite combinazioni di diverse situazioni planimetriche e altimetriche.

I difetti ottici (1)

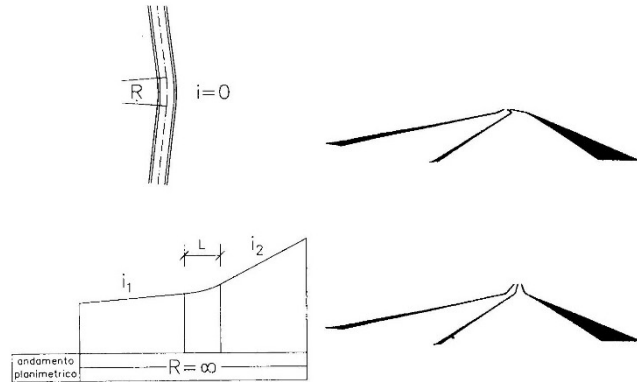


Fig.1 - Difetti ottici derivanti da raggio planimetrico o lunghezza del raccordo verticale troppo piccoli [8]

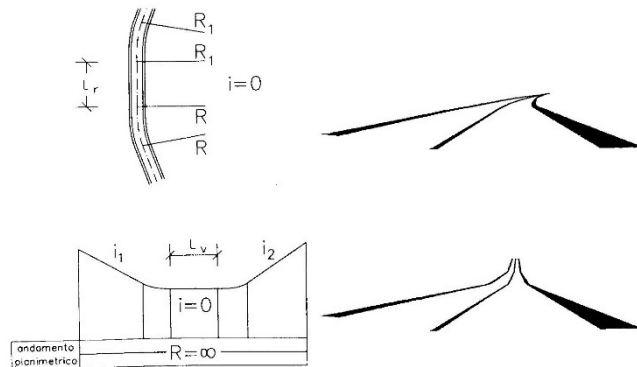


Fig.2 - Difetti ottici derivanti dall'essere L_r e L_v troppo piccoli [8]

- 1) Con piccoli angoli di deviazione tra i rettifili o con piccole variazioni di pendenza fra le livellette occorrono raggi grandi, altrimenti si ha l'impressione di un punto angoloso.
- 2) Il medesimo difetto si riscontra quando un breve rettifilo è interposto fra due curve circolari dello stesso verso o quando due raccordi verticali concavi sono separati da una livelletta troppo corta. È opportuno in entrambi i casi sostituire le due curve con una curva sola di grande raggio

I difetti ottici (2)

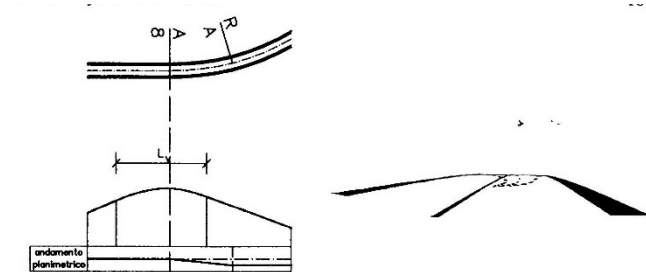


Fig.3 - Curva planimetrica mascherata da un dosso [8]

Nella Figura 3 (difetto 1) è mostrata una combinazione plano-altimetrica pericolosa: chi proviene da sinistra non si accorge della curva planimetrica che è mascherata dal raccordo convesso.

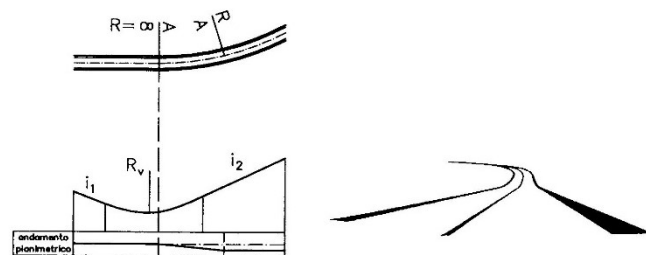


Fig.4 - Difetto ottico dovuto alla non corrispondenza tra curva planimetrica e raccordo verticale [8]

La figura 4 (difetto 2) mostra una visione prospettica quando una curva circolare inizia immediatamente dopo un raccordo concavo. L'utente ha l'impressione che vi sia un flesso. Si elimina il difetto facendo corrispondere curva planimetrica circolare e raccordo verticale con l'ulteriore condizione

$$R_v > 6 R$$

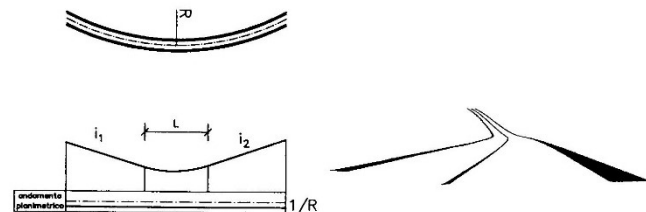


Fig.5 - Falsi punti di inflessione dei bordi dovuti ad insufficiente sviluppo del raccordo verticale [8]

Se la lunghezza del raccordo verticale è piccola (figura 5 – difetto 3) rispetto a quella planimetrica appaiono dei punti di inflessione ai bordi della carreggiata.

I difetti ottici (3)

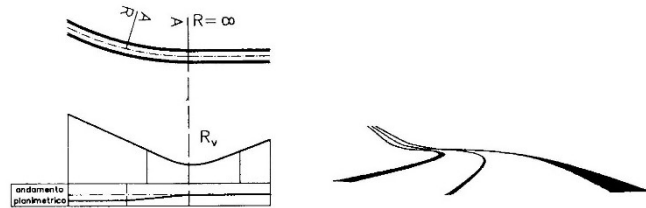


Fig.6 - Falso punto di inflessione ed apparente "strizione" della carreggiata derivanti dalla non corretta posizione relativa delle curve orizzontale e verticale [8]

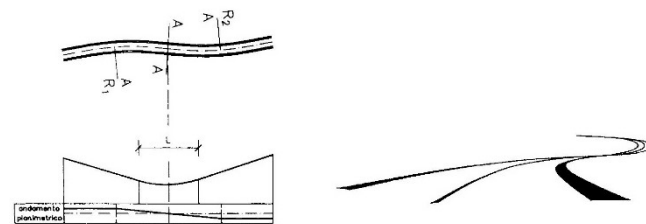


Fig.7 - Pronunciato effetto di "strizione" della carreggiata quando un raccordo concavo è ubicato a cavallo di un flesso [8]

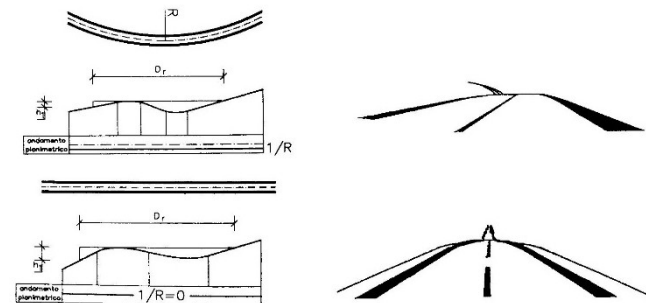


Fig.8 - Esempi di perdita di tracciato. Con h_i è indicata l'altezza dell'occhio del conducente [8]

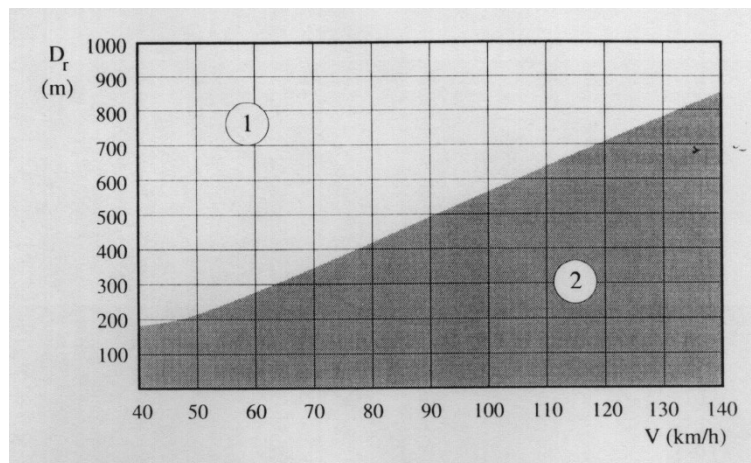
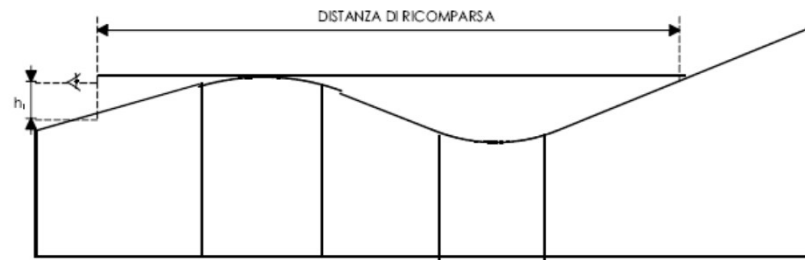
Nella Figura 6 (difetto 4) la curva circolare è posta immediatamente prima del raccordo concavo, si ha la percezione di un punto di inflessione e di un restringimento della carreggiata. Il rimedio è quello di far coincidere le due curve.

Nella figura 7 (difetto 5) si ha un raccordo concavo in corrispondenza di un punto di flesso. Problemi legati all'effetto di strizione della carreggiata e dello smaltimento delle acque meteoriche. È necessario spostare il raccordo verticale in corrispondenza di una curva circolare.

Nella figura 8 si ha una perdita di tracciato, si deve far in modo che la strada ricompaia ad una conveniente distanza.

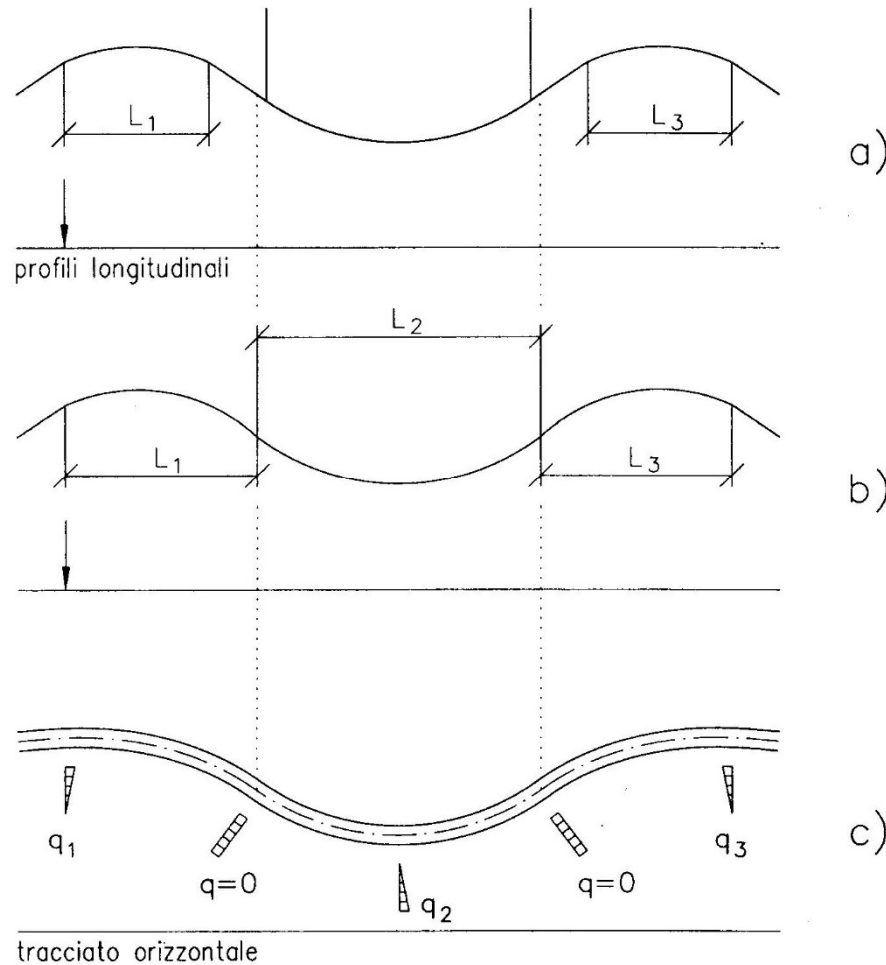
Distanza di ricomparsa

Se la distanza di ricomparsa è maggiore di un certo valore dipendente dalla velocità del veicolo non si genera disagio nell'utente



Velocità [km/h]	25	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Distanza di ricomparsa [m]	150	180	220	280	350	420	500	560	640	720	800	860

Regole generali per il coordinamento



Nei tratti rettilinei l'inserimento di raccordi verticali, purché sufficientemente lontani dai punti di tangenza delle curve planimetriche, non comporta problemi. Sono da evitare i cambi frequenti di livelletta.

Con un tracciato planimetrico a curvatura continua si deve far coincidere i punti di inflessione delle curvature. In ogni caso è consigliabile far coincidere l'inizio e la fine di un raccordo concavo con i punti di flesso planimetrici.

Approfondimenti e Riflessioni



Leonhard Euler, Eulero (1707 – 1783):

“In generale la grandezza dell'ingegno non garantisce mai dall'assurdità delle opinioni abbracciate.”

