RILIEVO E PROGETTAZIONE STRADALE

La geometria stradale

Sassari 28/09/2016

(h 9.00 - 12.00)

Parleremo di …

- Normative, organizzazione della sede stradale e fasi preliminari alla progettazione
- Studio del tracciato e individuazione della geometria dell’asse stradale
- Sezioni trasversali e computi volumetrici

Inquadramento normativo per la progettazione stradale

- D. Lgs. 30 Aprile 1992 n. 285 - Nuovo Codice della Strada
- D.P.R. 16 dicembre 1992 n. 495 - Regolamento di esecuzione e di attuazione del Nuovo Codice della Strada
- D.M. 30 Novembre 1999 n. 557 (Ministero dei Lavori Pubblici) - Regolamento recante norme per la definizione delle caratteristiche tecniche delle piste ciclabili
- D.M. 05.06.2001 (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti) - La sicurezza nelle gallerie stradali
- D.M. 01.06.2001 (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti) - Modalità di istituzione e aggiornamento del catasto delle strade
- **D.M. 05.11.2001 (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti) - Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade – G.U. 04.01.2002**
- D.Lgs. 27.06.2003 n.151 - Modifiche ed integrazioni al codice della strada
- D.M. 22.04.2004 (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti) - Modifica del decreto 5 Novembre 2001
- D.M. 19 aprile 2006 (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti) - Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni
- D.Lgs 05.10.2006, n. 264 - Attuazione della direttiva 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea

TIPI DI STRADE secondo la normativa

Nell'art.2 del "Codice della strada" (D. L.vo 285/92 e suoi aggiornamenti successivi) le strade sono classificate nei seguenti tipi:

- A - Autostrade (extraurbane ed urbane)
- B - Strade extraurbane principali
- C - Strade extraurbane secondarie
- D - Strade urbane di scorrimento
- E - Strade urbane di quartiere
- F - Strade locali (extraurbane ed urbane)

Dettaglio TIPI di STRADE in base all'art.2 del "Codice della strada" (D. L.vo 285/92 e suoi aggiornamenti successivi)

Tipo di strada	Descrizione	Caratteristiche
A	**Autostrade** (extraurbane ed urbane)	Strade extraurbane o urbane a carreggiate indipendenti o separate da spartitraffico invalicabile, ciascuna con almeno due corsie di marcia e una corsia di emergenza, priva di intersezioni a raso e di accessi privati e riservate solo ad alcune categorie di veicoli a motore.
B	**Strade extraurbane principali**	Come le strade di tipo A, ma con accessi coordinati alle proprietà laterali.
C	**Strade extraurbane secondarie**	Strade a unica carreggiata con almeno una corsia per senso di marcia.
D	**Strade urbane di scorrimento**	Strade a carreggiate indipendenti o separate da spartitraffico, ciascuna con almeno due corsie di marcia, con eventuali intersezioni a raso semaforizzate.
E	**Strade urbane di quartiere**	Strade a unica carreggiata con almeno due corsie, banchine pavimentate e marciapiedi.
F	**Strade locali** (extraurbane ed urbane)	Strade urbane o extraurbane a unica carreggiata non facenti parte degli altri tipi di strade.

Dettaglio caratteristiche strade da DM 5 nov. 2001

Tipo di strada		Ambito territoriale		Limite di velocità (km/h)	Numero di corsie per senso di marcia	Intervallo di velocità di progetto (km/h)		Largh. corsia di marcia (m)	Largh. minima sparti-traffico (m)	Largh. minima banchina in sinistra (m)	Largh. minima banchina in destra (m)	Largh. corsia di emer-genza (m)	Largh. minima margine interno (m)	Largh. minima margine laterale (m)	Portata di servizio per corsia (veic./ora)
						Limite inferiore	Limite superiore								
(1)		(2)		(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
A	**Autostrada**	Extra-urbano	Strada principale	130	2 o più	90	140	3,75	2,60	0,70	2,50	3,00	4,00	6,10	1100
			Eventuale strada di servizio	90	1 o più	40	100	3,50	–	0,50	1,25	–	–	–	650
		Urbano	Strada principale	130	2 o più	80	140	3,75	1,80	0,70	2,50	3,00	3,20	5,30	1550
			Eventuale strada di servizio	50	1 o più	40	80	3,00	–	0,50	0,50	–	–	–	1150
B	**Extraurbana principale**	Extra-urbano	Strada principale	110	2 o più	70	120	3,75	2,50	0,50	1,75	–	3,50	4,25	1000
			Eventuale strada di servizio	90	1 o più	40	100	3,50	2,00	0,50	1,25	–	–	–	650
C	**Extraurbana secondaria**	Extra-urbano	Strada principale	90	1	60	100	3,75	–	–	1,50	–	–	–	800
			Eventuale strada di servizio	90	1	60	100	3,50	–	–	1,25	–	–	–	600
D	**Urbana di scorrimento**	Urbano	Strada principale	70	2 o più	50	80	3,25	1,80	0,50	1,00	–	2,80	3,30	950
			Eventuale strada di servizio	50	1 o più	25	60	2,75	–	0,50	0,50	–	–	–	800
E	**Urbana di quartiere**	Urbano	Strada principale	50	1 o più	40	60	3,00	–	–	0,50	–	0,50	–	800
F	**Locale**	Extra-urbano	Princ. a traffico sostenuto	90	1	40	100	3,50	–	–	1,00	–	–	–	450
			Princ. a traffico limitato	90	1	40	100	3,25	–	–	1,00	–	–	–	450
		Urbano	Strada principale	50	1 o più	25	60	2,75	–	–	0,50	–	–	–	800

Dettaglio VELOCITA' DI PROGETTO

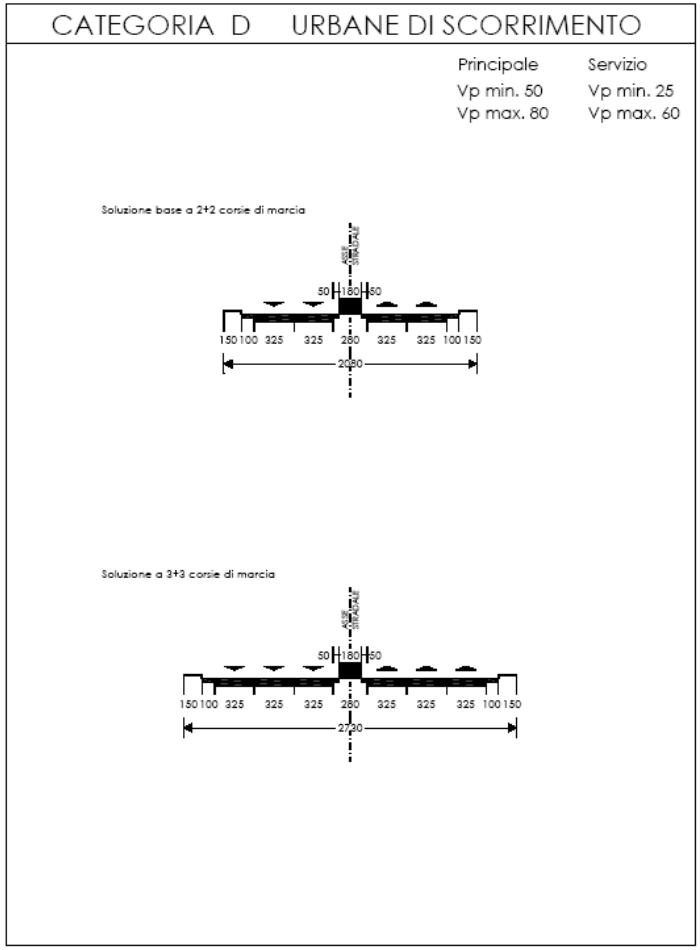
velocità massima che può essere mantenuta con sicurezza da un conducente di medie capacità, in condizioni favorevoli, su un determinato tratto stradale

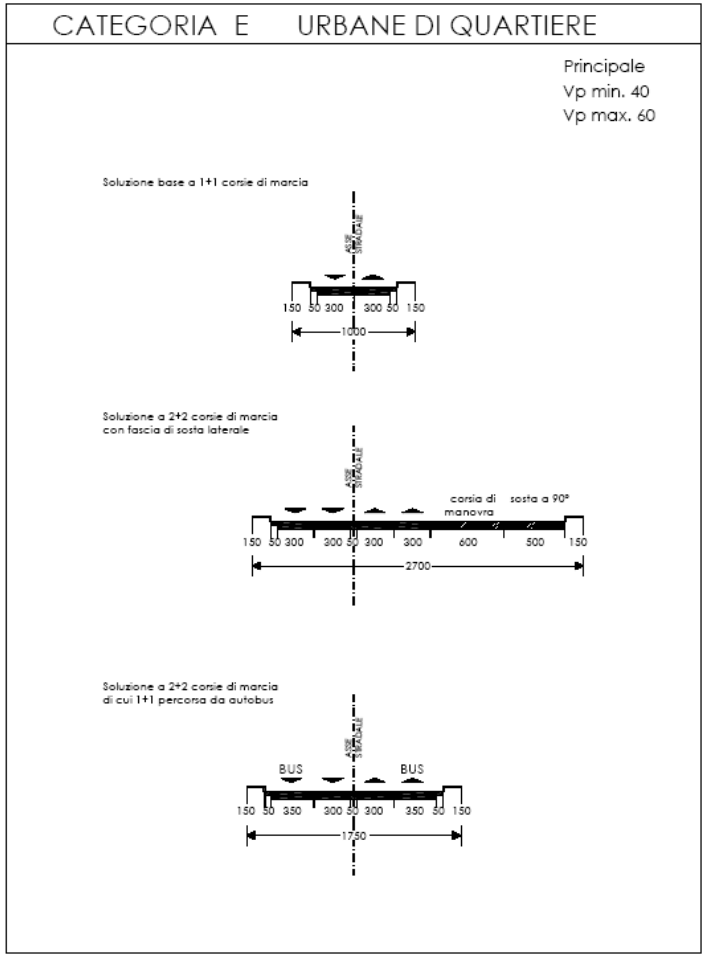
- Limite inferiore V_{Pmin}
  - è la velocità di riferimento per la progettazione degli elementi **più vincolanti** e restrittivi del tracciato (es. curve, pendenze ecc.);
  - corrisponde alla velocità che può essere mantenuta sugli elementi, rispettando i margini di sicurezza.

Limite superiore V_{Pmax}

- è la velocità di riferimento per la progettazione degli elementi **meno vincolanti** del tracciato (es. rettifili orizzontali, distanze di visuale libera ecc.);
- è almeno pari alla velocità massima consentita dal Codice per quel tipo di strada.

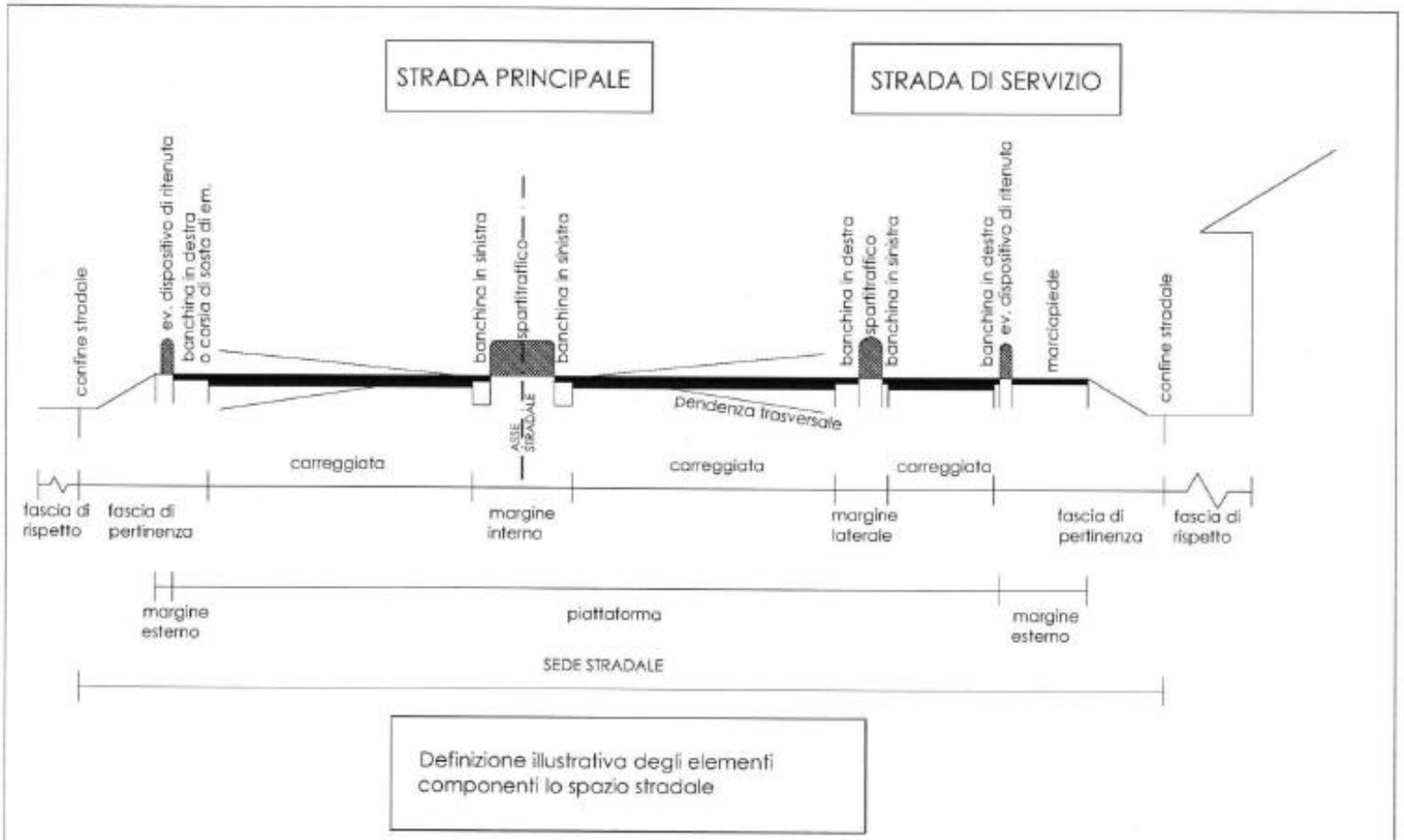
Esempi di piattaforma (DM 5 nov. 2001)





Organizzazione della sede stradale

(da DM 05 nov. 2001 - Norme funzionali e geometriche)



Definizione illustrativa degli elementi componenti lo spazio stradale

Organizzazione in sede artificiale

Preliminari alla progettazione: fase di **indagini**

Per la conoscenza del quadro generale in cui si inserirà l'opera sarà opportuno definire:

- SCOPI DELL'OPERA
- ESIGENZE DELL'UTENZA
- CARATTERISTICHE FISICHE, MORFOLOGICHE E SOCIALI DEL TERRITORIO INTERESSATO
- LA SITUAZIONE GEOLOGICA

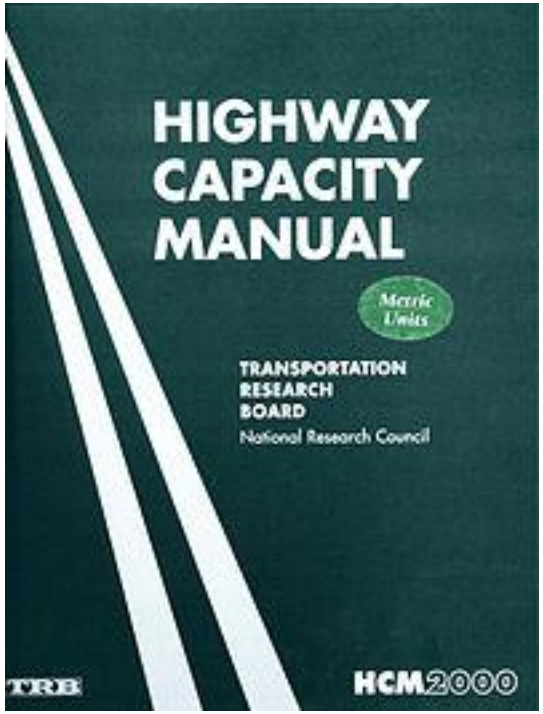
Dettaglio indagini sulla **situazione geologica** dei terreni interessati:

- Natura litologica, genesi ed età
- La struttura
- La giacitura
- Le condizioni
- La situazione
- Il comportamento

… si imposta quindi il MODELLO FUNZIONALE

- PREVISIONE DEI FLUSSI DI TRAFFICO
- DEL LIVELLO DI SERVIZIO (in base alla capacità e densità veicolare, grado di sicurezza, velocità operativa, regolarità, economicità,…)
- PRIMA IPOTESI DI MASSIMA E PRIMA ANALISI COSTI/BENEFICI

per APPROFONDIMENTI su questa fase:



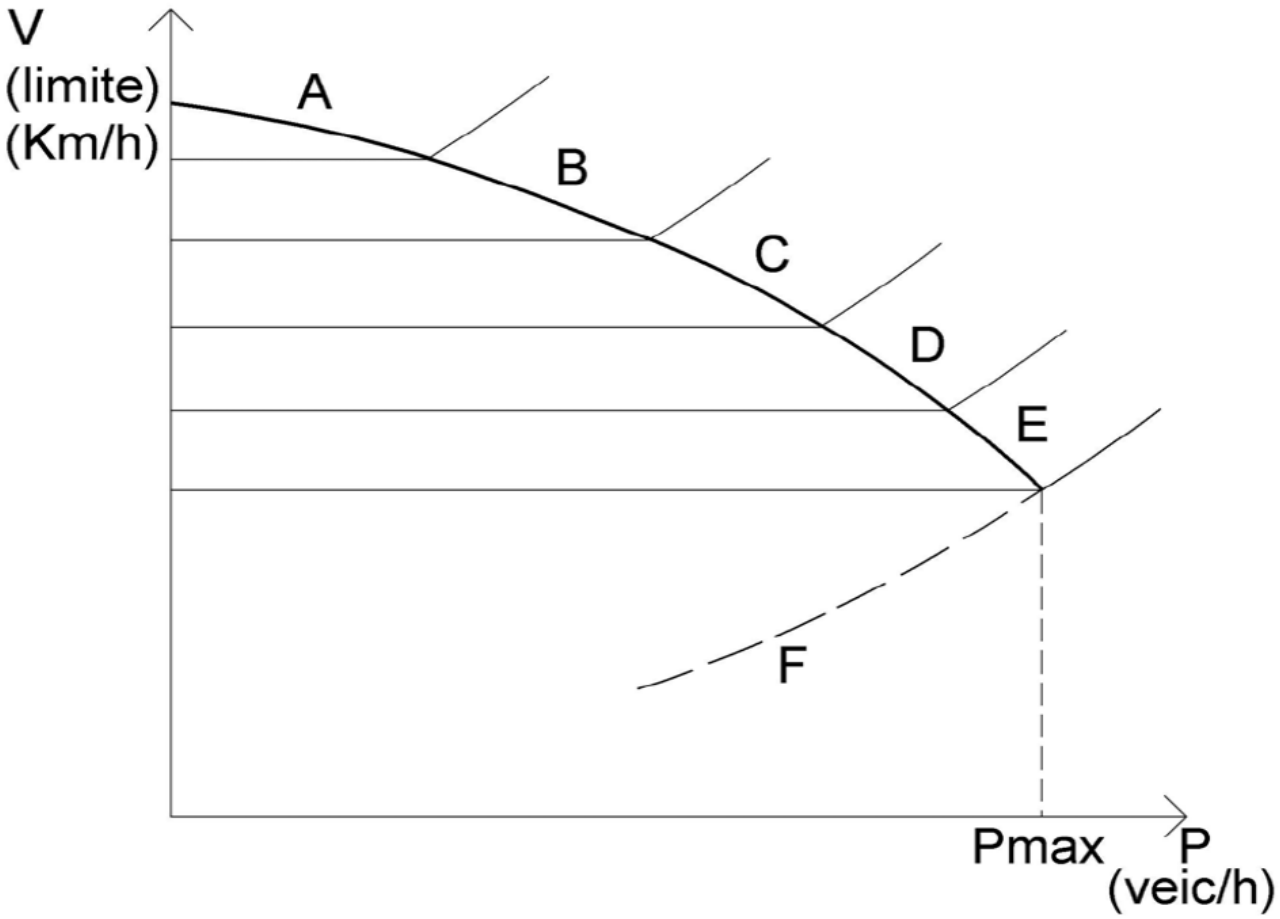
Livello di servizio (LdS)

- **Il livello di servizio (LdS) di una infrastruttura stradale può essere definito come il grado con il quale il traffico presente sulla strada vincola il conducente durante la marcia**

- **L'HCM riconosce 6 livelli di servizio, connotati con le prime sei lettere dell'alfabeto (da A ad E). Ad essi si aggiunge un settimo livello F, nel quale la congestione azzera il passaggio dei veicoli. Al livello A corrisponde il massimo grado di libertà del conducente, al livello E il massimo grado di vincolo. Il LdS può essere visto come funzione lineare della densità (n veicoli/km): é alto quando la densità é bassa e viceversa.**

- **La massima portata che una strada può smaltire ad un determinato livello di servizio assume il nome di "portata di servizio" per quel livello.**

Esempio di grafico LdS



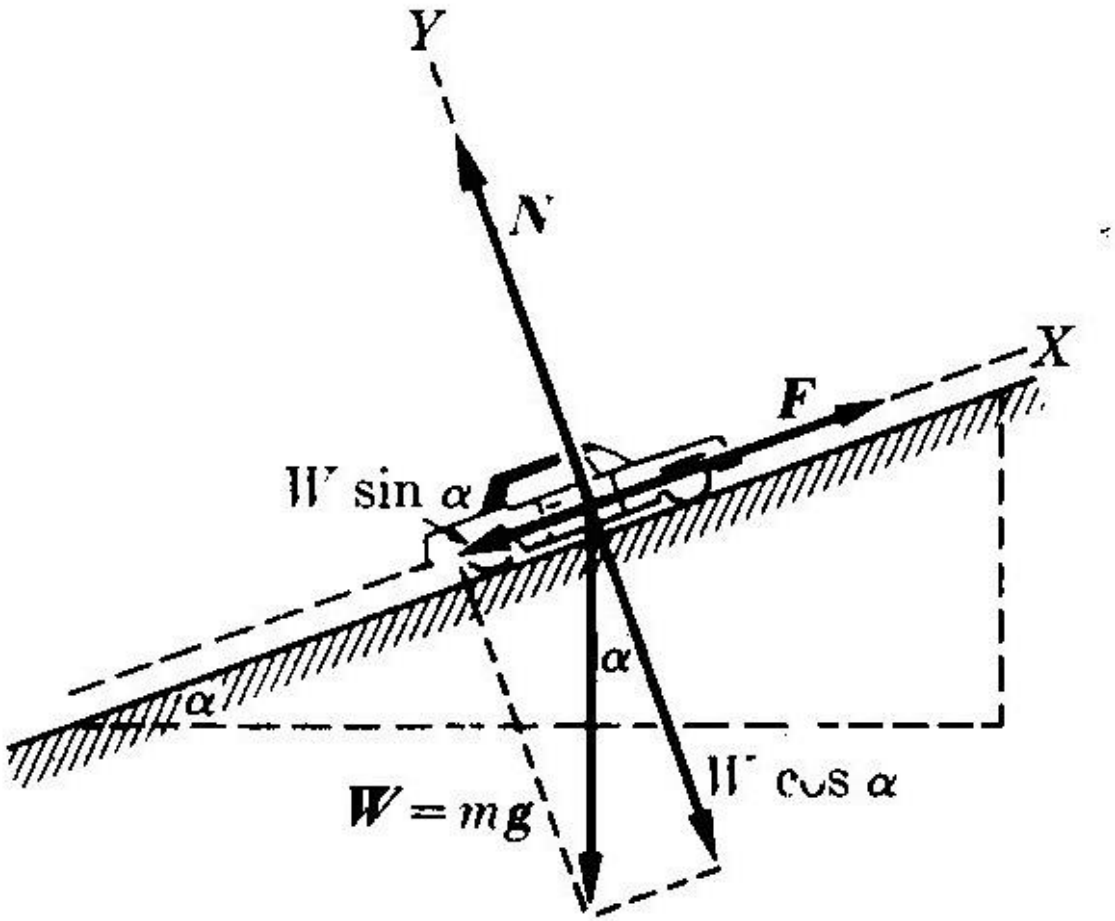
… dal Modello Funzionale => PARAMETRI GEOMETRICI DI PROGETTO

- Pendenza longitudinale massima
- Raggi minimi di curvatura
- Larghezza sede stradale
- Caratteristiche strutturali e tecniche delle opere da realizzare (categorie lavori)

Dettaglio sulle CATEGORIE DI LAVORI

- LAVORI DI TERRA (SCAVI, FORMAZIONE DEI RILEVATI)
- OPERE MURARIE DI SOSTEGNO
- OPERE DI ATTRAVERSAMENTO (PONTI VIADOTTI SOTTOPASSI)
- GALLERIE
- OPERE DI CONSOLIDAMENTO DIFESA BONIFICA
- SOPRASTRUTTURA E PAVIMENTAZIONI
- OPERE ED ATTREZZATURE COMPLEMENTARI (DISPOSITIVI DI SICUREZZA, ILLUMINAZIONE, VENTILAZIONE, SEGNALETICA, OPERE A VERDE, …)

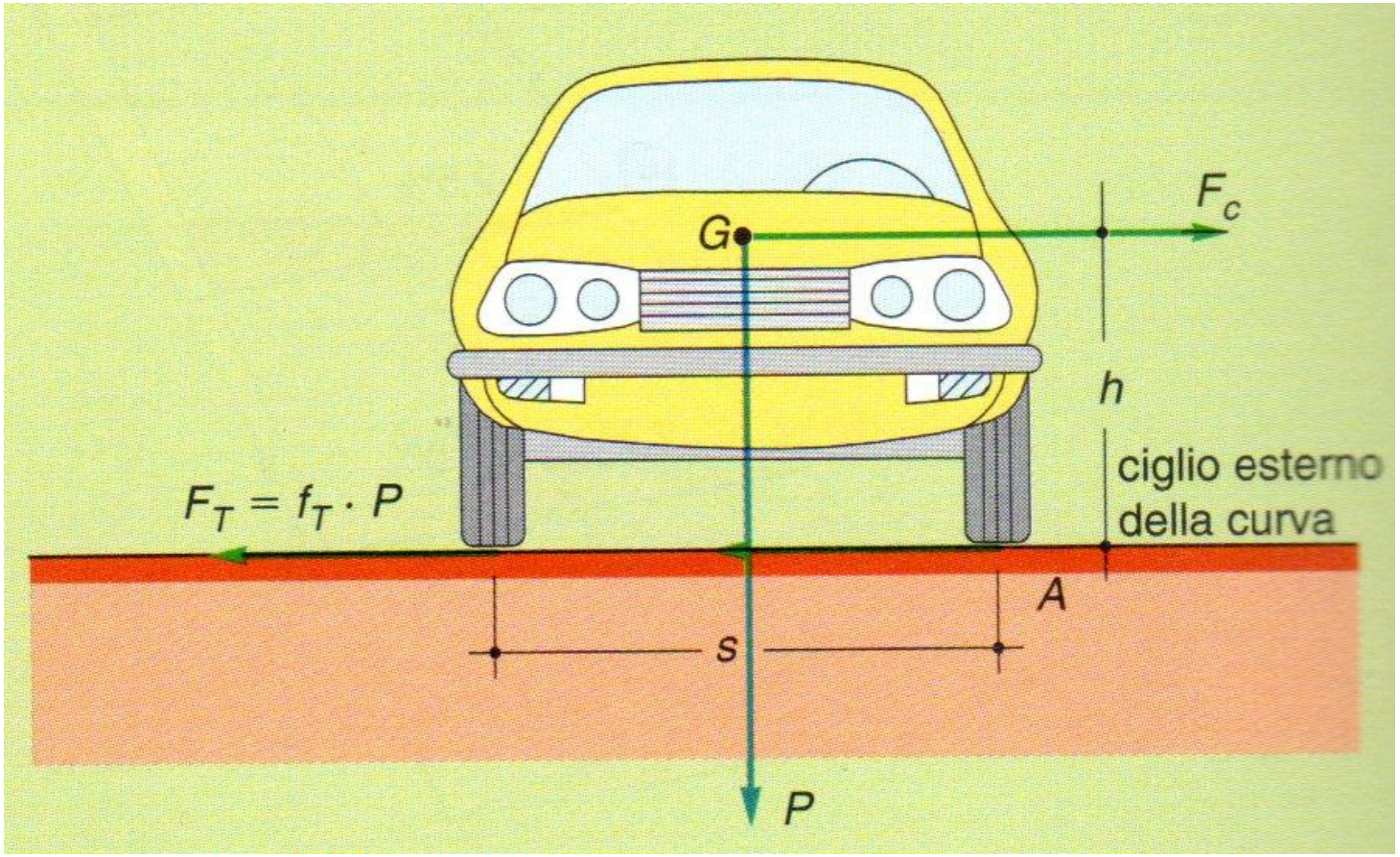
Modello fisico - geometrico per l'approccio allo studio del tracciato_1



Valori massimi pendenze longitudinali (DM 05 nov. 2001)

TIPO DI STRADA		AMBITO URBANO	AMBITO EXTRAURBANO
AUTOSTRADA	A	6%	5%
EXTRAURBANA PRINCIPALE	B	-	6%
EXTRAURBANA SECONDARIA	C	-	7%
URBANA DI SCORRIMENTO	D	6%	-
URBANA DI QUARTIERE	E	8%	-
LOCALE	F	10%	10%

Modello fisico - geometrico per l'approccio allo studio del tracciato_2

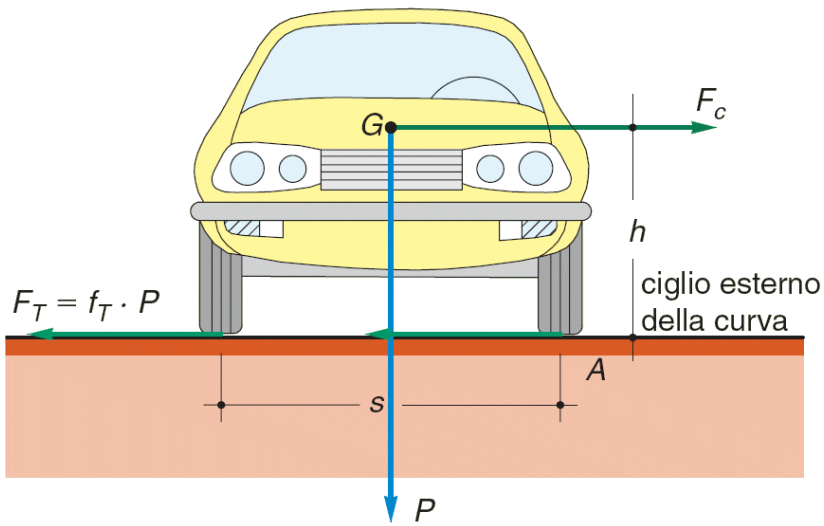


Dettaglio IL MOTO IN CURVA

Pensando che il moto di un veicolo all'interno di una **curva circolare** di raggio R avvenga a **velocità** v (m/sec) costante, esso è caratterizzato dalla comparsa della **forza centrifuga** F_C, assente in rettifilo. La sua **intensità** viene ricavata dalla seguente espressione:

$$F_C = \frac{P}{g} \cdot \frac{v^2}{R} \qquad (kg)$$

CURVE CIRCOLARI CON PIATTAFORMA **ORIZZONTALE**



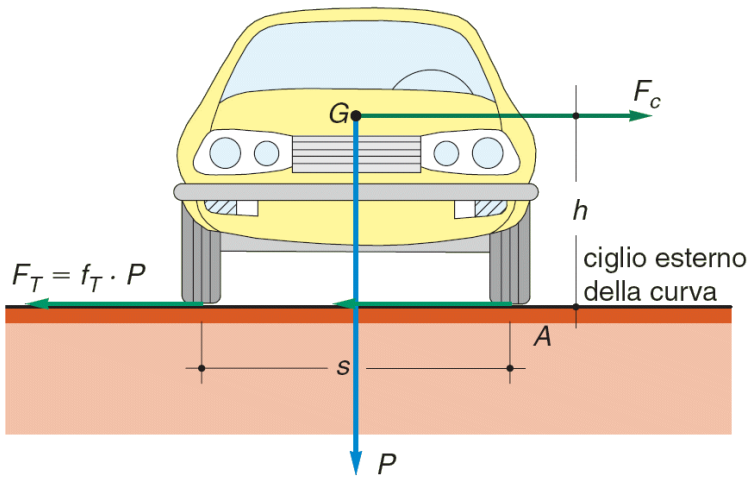
Durante il moto in curva, l'**attrito** trasversale tra *pneumatico* e *asfalto* dà luogo a una **forza d'attrito tangenziale** F_T complessiva di intensità proporzionale al **peso** P del veicolo: $F_T = f_T \cdot P$.

Affinché questa forza contrasti la forza centrifuga F_C e mantenga il veicolo in traiettoria, dovrà verificarsi:

$$\boldsymbol{F_T \geq F_C} \quad >>>> \quad \boldsymbol{f_T \cdot P \geq F_C}$$

(f_T è fornito dalle norme in funzione della velocità di progetto)

RAGGIO MINIMO DELLE CURVE in orizzontale



$$F_T \geq F_C \quad >>>> \quad f_T \cdot P \geq F_C$$

Questa relazione è detta **equilibrio allo slittamento**, e considerando la situazione limite (segno =) possiamo ricavare il raggio minimo che deve avere la curva.

Equilibrio allo slittamento

$$f_T \cdot P \geq \frac{P}{g} \cdot \frac{v^2}{R_1}$$

$$R_1 = \frac{v^2}{g \cdot f_T}$$

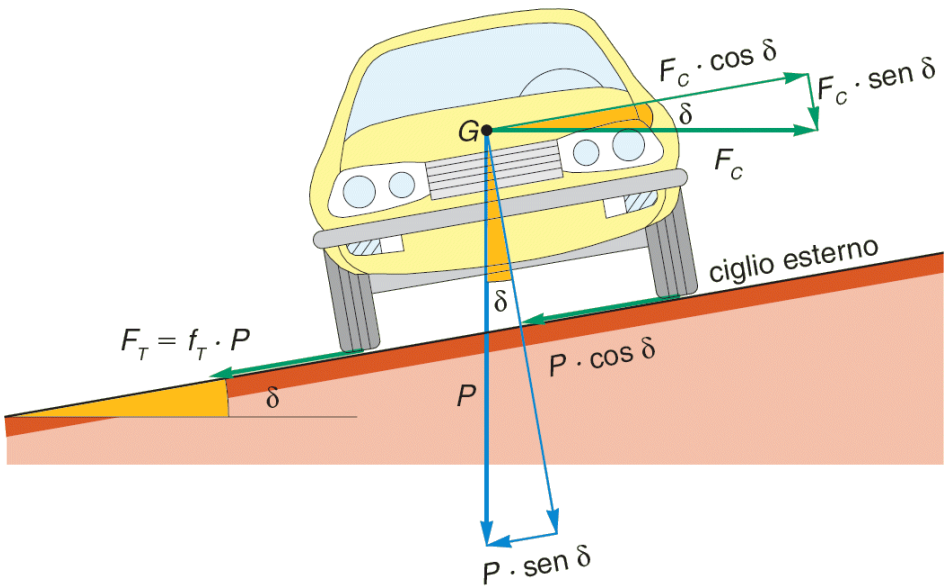
Equilibrio al ribaltamento

$$\frac{P}{g} \cdot \frac{v^2}{R_2} \cdot h \leq P \cdot \frac{s}{2}$$

$$R_2 = \frac{2 \cdot v^2 \cdot h}{g \cdot s}$$

In condizioni prevalenti R_1 è il più grande, dunque viene assunto come R_{min}

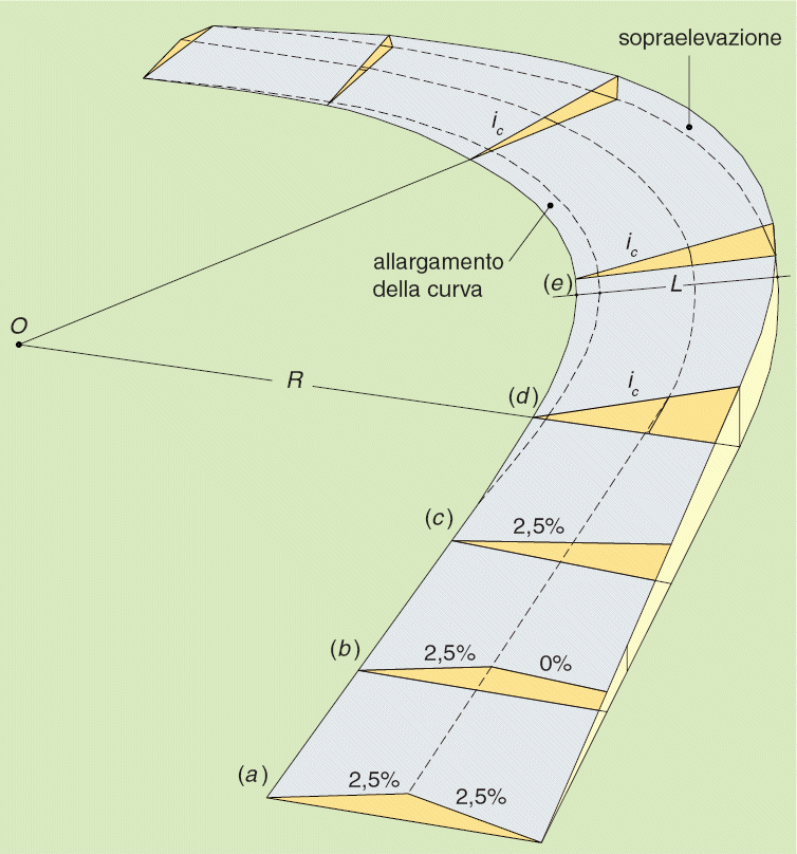
CURVE CIRCOLARI E PIATTAFORMA **SOPRAELEVATA**



- La **sopraelevazione** della piattaforma in curva consente una **maggior regolarità** ed efficienza del moto.
- Questo perché la sopraelevazione permette di **contrastare parzialmente** la forza centrifuga F_C, riducendo il disturbo al moto che essa produce.

LA SAGOMATURA DELLA PIATTAFORMA **IN CURVA**

La **sagomatura** trasversale in curva non risponde solamente alla funzione di drenare le acque piovane (come in rettifilo) ma ha anche la funzione di **migliorare il moto dei veicoli**, interagendo direttamente con il **raggio** della curva e la **velocità di progetto.**



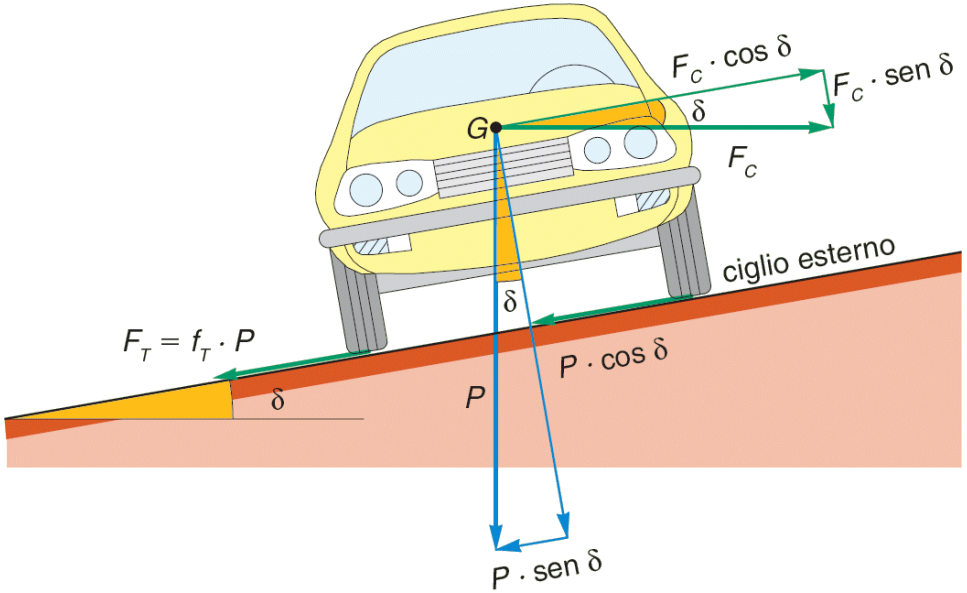
In curva l'**intera carreggiata** è sempre **inclinata verso l'interno** della stessa curva e la pendenza trasversale *q* rimane costante per tutto il suo sviluppo.

Questa non deve superare un limite superiore fissato dalle norme per i vari tipi di strade.

Pendenze trasversali massime da norma

	TIPO DI STRADA		
	A, B, C, F extra	D	E, F urb
q_{max}	7%	5%	3,5%

RAGGIO MINIMO DELLE CURVE con sopraelevazione



L'equilibrio deve essere valutato sul **piano inclinato** di scorrimento del veicolo considerando le componenti di P e F_C, parallele o perpendicolari a tale piano.

Equilibrio allo slittamento

(sul piano inclinato)

$$f_T \left(\frac{P}{g} \cdot \frac{v^2}{R} \cdot \text{sen}\,\delta + P \cdot \cos\delta\right) \geq \frac{P}{g} \cdot \frac{v^2}{R} \cdot \cos\delta - P \cdot \text{sen}\,\delta$$

Dividendo per $P \cdot \cos\delta$, semplificando, e ricordando che: $q = \text{tg}\,\delta$, si ottiene:

$$R = \frac{v^2}{g \cdot (f_T + q)}$$

RAGGIO MINIMO DELLE CURVE sopraelevate

$$R = \frac{v^{2\,(m/s)}}{g \cdot (f_T + q)}$$

Il DM 05 nov. 2001 prescrive che la velocità da utilizzare nella precedente relazione sia il **limite inferiore** dell'intervallo della **velocità di progetto** V_{Pmin}, e la pendenza trasversale sia il valore massimo q_{max} per il tipo di strada considerata.

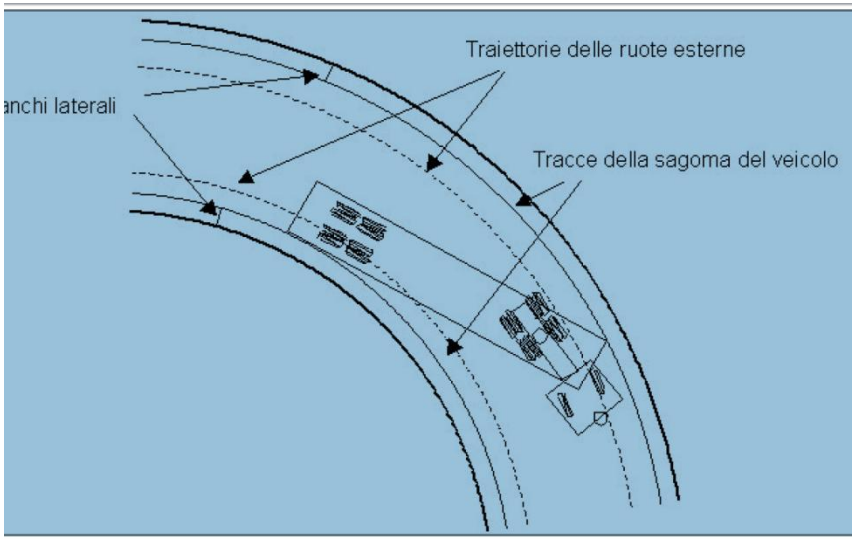
$$R_{min} = \frac{V_{Pmin}^{2}\,(km/h)}{127 \cdot (f_T + q_{max})}$$

Valori del coefficiente f_T fornito dal DM 5 nov. 2001

Velocità (km/h)	25	40	60	80	100	120	140
Valore di f_T per strade tipo A, B, C, F extraurbane	–	0,21	0,17	0,13	0,11	0,10	0,09
Valore di f_T per strade tipo D, E, F urbane	0,22	0,21	0,20	0,16	–	–	–

Scene di ribaltamento (auto e betoniera)

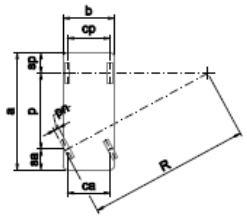
Altro inconveniente del moto in curva: il maggiore ingombro del veicolo



Ingombro di un veicolo in manovra

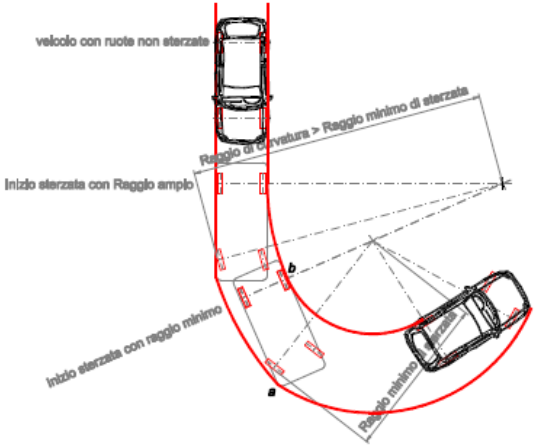
Dimensionamento del veicolo

(I valori in tabella, sono a titolo indicativo e si riferiscono ad una utilitaria)



a	*lunghezza*	380
b	*larghezza*	166
ca	*carreggiata anteriore*	140
cp	*carreggiata posteriore*	139
p	*passo*	246
sa	*sbalzo anteriore*	67
sp	*sbalzo posteriore*	67
pn	*larghezza pneumatico*	17
R	*raggio minimo di sterzata*	525

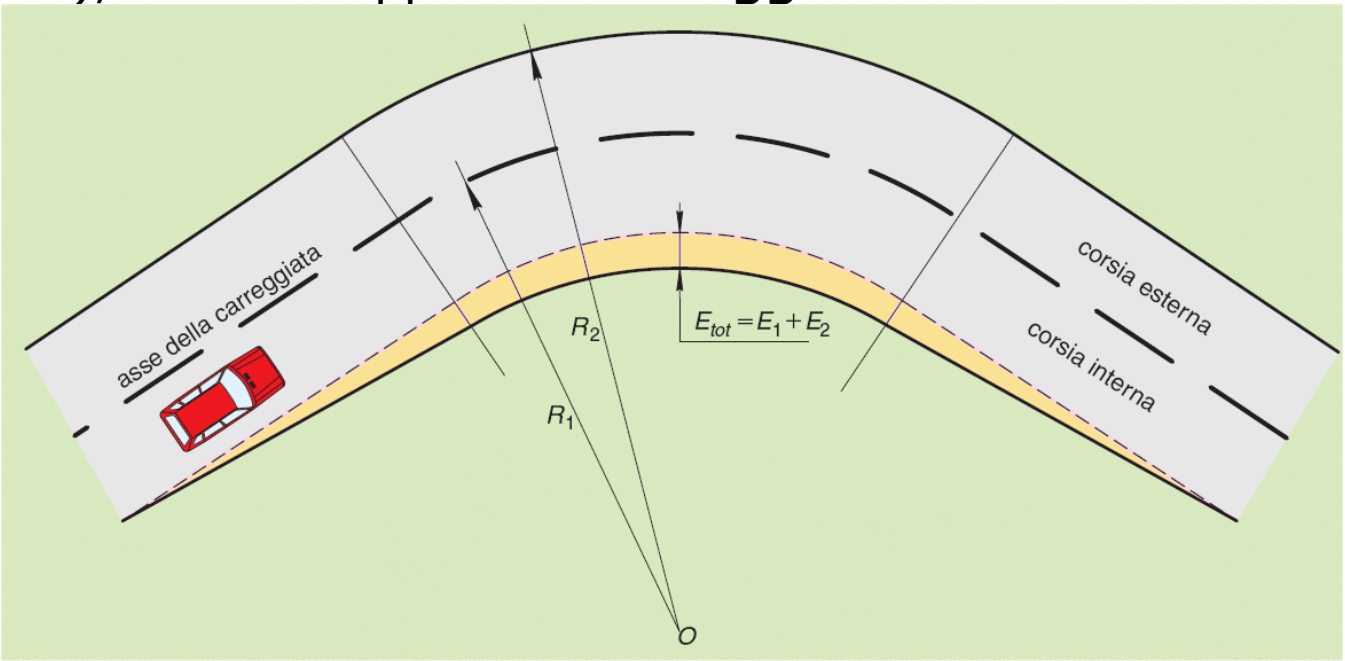
Esempio applicativo



In questo esempio è raffigurata la fascia di ingombro (in colore rosso) di un veicolo in manovra.
Dopo aver percorso un tratto in rettilineo, viene effettuata una prima sterzata con un raggio ampio fino ai punti "a" e "b", quindi viene impostato il raggio minimo di curvatura.

ALLARGAMENTO IN CURVA per iscrizione veicoli

- L'allargamento deve interessare solo le **carreggiate** e non le **banchine**.
- Per le curve circolari, **ciascuna corsia** dovrà essere allargata di una quantità costante "E" fornita dalla seguente espressione (DM 5 nov. 2001), in cui *R* rappresenta il **raggio esterno** della corsia:



$$E = \frac{45}{R}$$

L'allargamento totale $E_{TOT} = E_1 + E_2 + E_3 \ldots$ viene ottenuto sommando gli allargamenti di ogni singola corsia, inoltre deve essere applicato **tutto** alla **corsia più interna** di ciascuna carreggiata.

…poi ci sono le DISTANZE DI VISUALE LIBERA

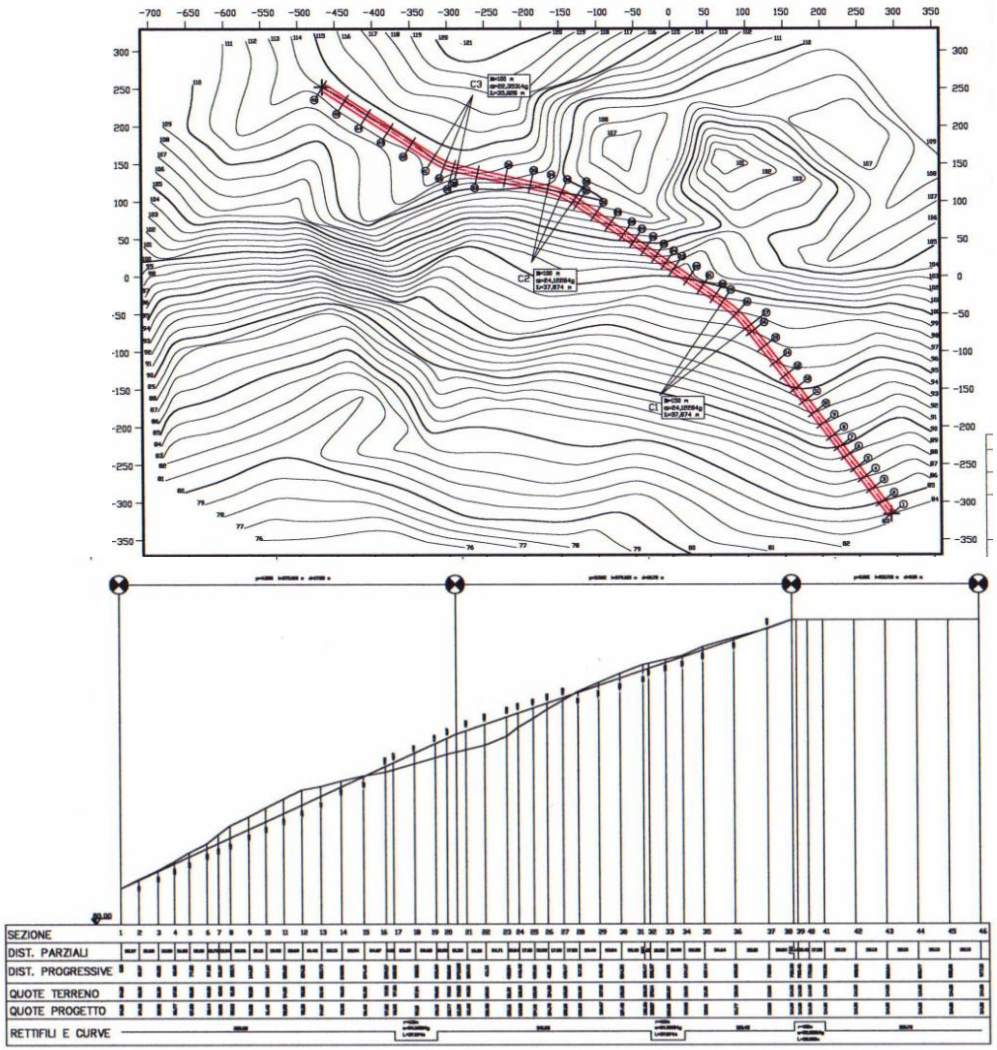
- Si tratta della **lunghezza del tratto stradale** che il conducente è in grado di **vedere** davanti a sé, senza considerare l'influenza di traffico e le condizioni atmosferiche.

- Le norme prevedono le seguenti **distanze di visibilità** che verranno poi richiamate nel dimensionamento di diversi elementi geometrici della strada.

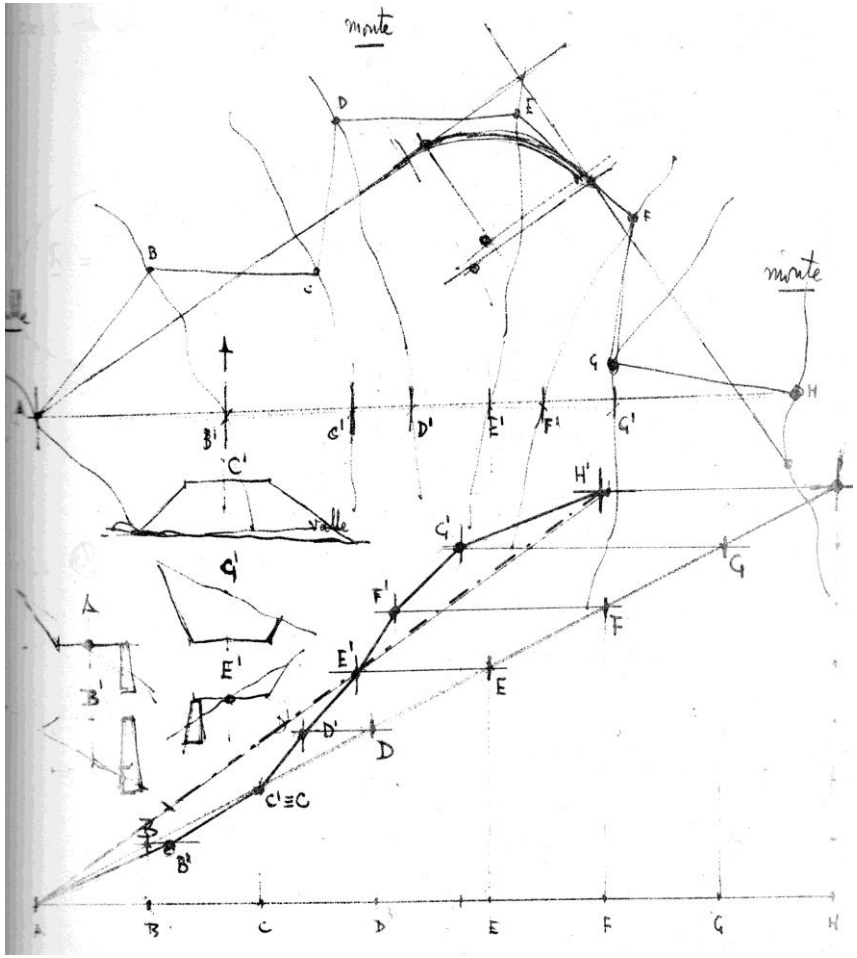
  - DISTANZA DI VISIBILITÀ PER L'ARRESTO
  - DISTANZA DI VISIBILITÀ PER IL SORPASSO
  - DISTANZA DI VISIBILITÀ PER LA MANOVRA

    (cambio di corsia)

STUDIO GEOMETRICO DEL TRACCIATO DELL'ASSE STRADALE



L'*incipit*: sensibilità progettuale e creativa



STUDIO DEL TRACCIATO DELL'ASSE STRADALE

Per lo studio del tracciato ci si avvale di:

- Cartografie (1: 5000 – 2000 – 1000 – 500 – 200)
- Modelli digitali del terreno
- Ortofotocarte
- Molti sopralluoghi per gli aspetti antropici e le reali condizioni *in situ* (abitati, punti obbligati, versanti preferibili, attraversamenti, espropri, proprietà, guasti al paesaggio, …)

... a proposito di reiterati sopralluoghi:

Appennino tosco-emiliano, estate 1955

"... Jelmoni e Nigro superarono un piccolo rigagnolo che scorreva dritto dalle pendici della montagna. Un rivo innocuo per i pastori e le bestie che vivevano in quei boschi. Ma i due uomini lo guardarono con preoccupazione. Segnarono su di un foglio a lettere maiuscole le parole "falda acquifera" e "infiltrazioni", sottolinearono in rosso più volte i termini e lo inserirono nei loro quaderni."

Tratto da "La Strada Dritta – il romanzo dell'Autostrada del Sole" di Francesco Pinto – Ed. Arnoldo Mondadori, 2011

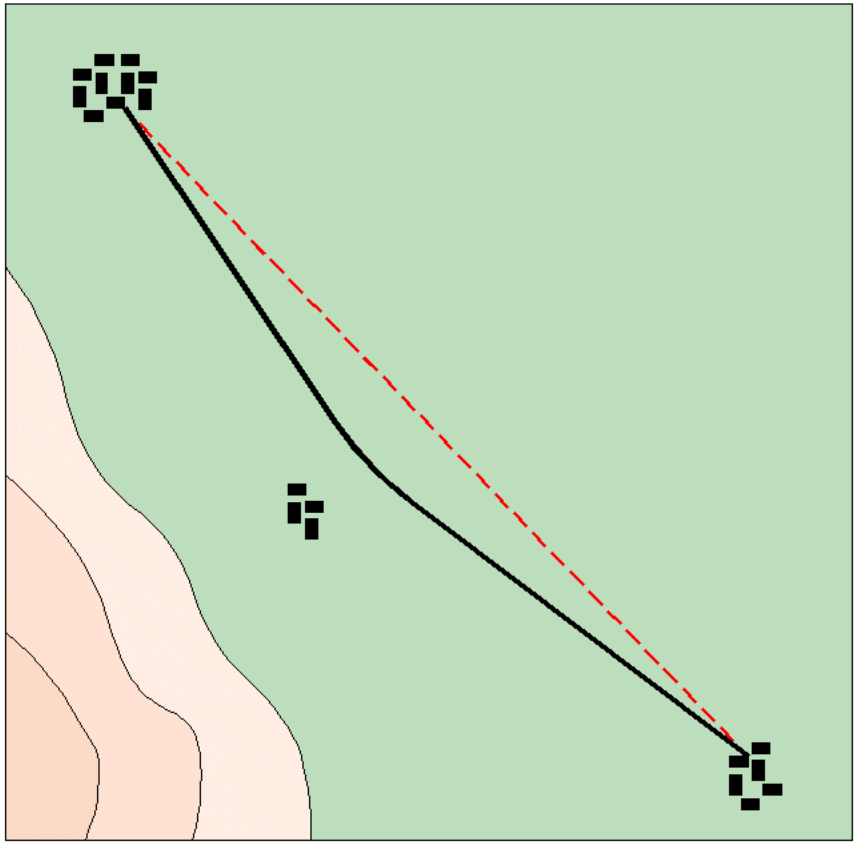
RAPPRESENTAZIONI CONVENZIONALI

- L'asse di una strada è costituito da una **linea non piana** che si sviluppa nello spazio e dovrebbe essere riprodotta con rappresentazioni **tridimensionali**.
- Per ragioni di praticità, è consuetudine studiarne **separatamente** l'*andamento planimetrico* (o **planimetria**) e l'*andamento altimetrico* (o **profilo longitudinale**).

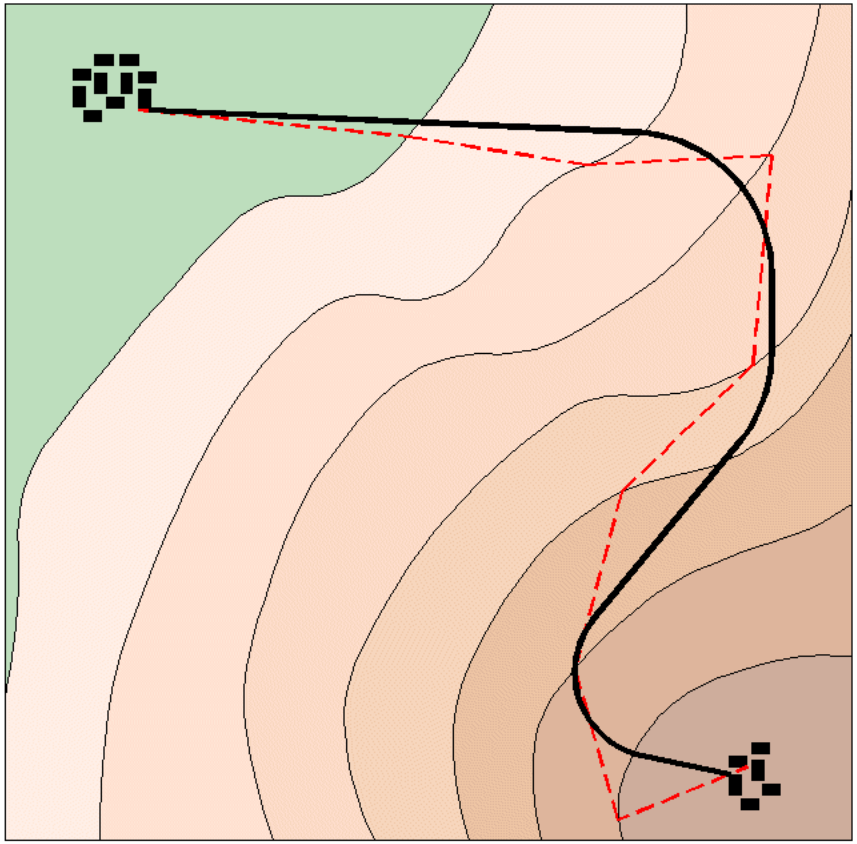
- **PLANIMETRIA**: **è la proiezione dell'asse stradale sul piano orizzontale di riferimento** (di norma il tracciato più **economico** è quello che si stacca il meno possibile dal terreno e che si discosta il meno possibile dal **collegamento diretto** dei due estremi **in pianura**, oppure dal **tracciolino** in montagna).
- **PROFILO LONGITUDINALE**: rappresenta **l'andamento altimetrico, sia del terreno sia della piattaforma**, in corrispondenza dell'asse stradale, supposto sviluppato sopra a un unico **piano verticale di rappresentazione**.

COLLEGAMENTO DIRETTO E TRACCIOLINO

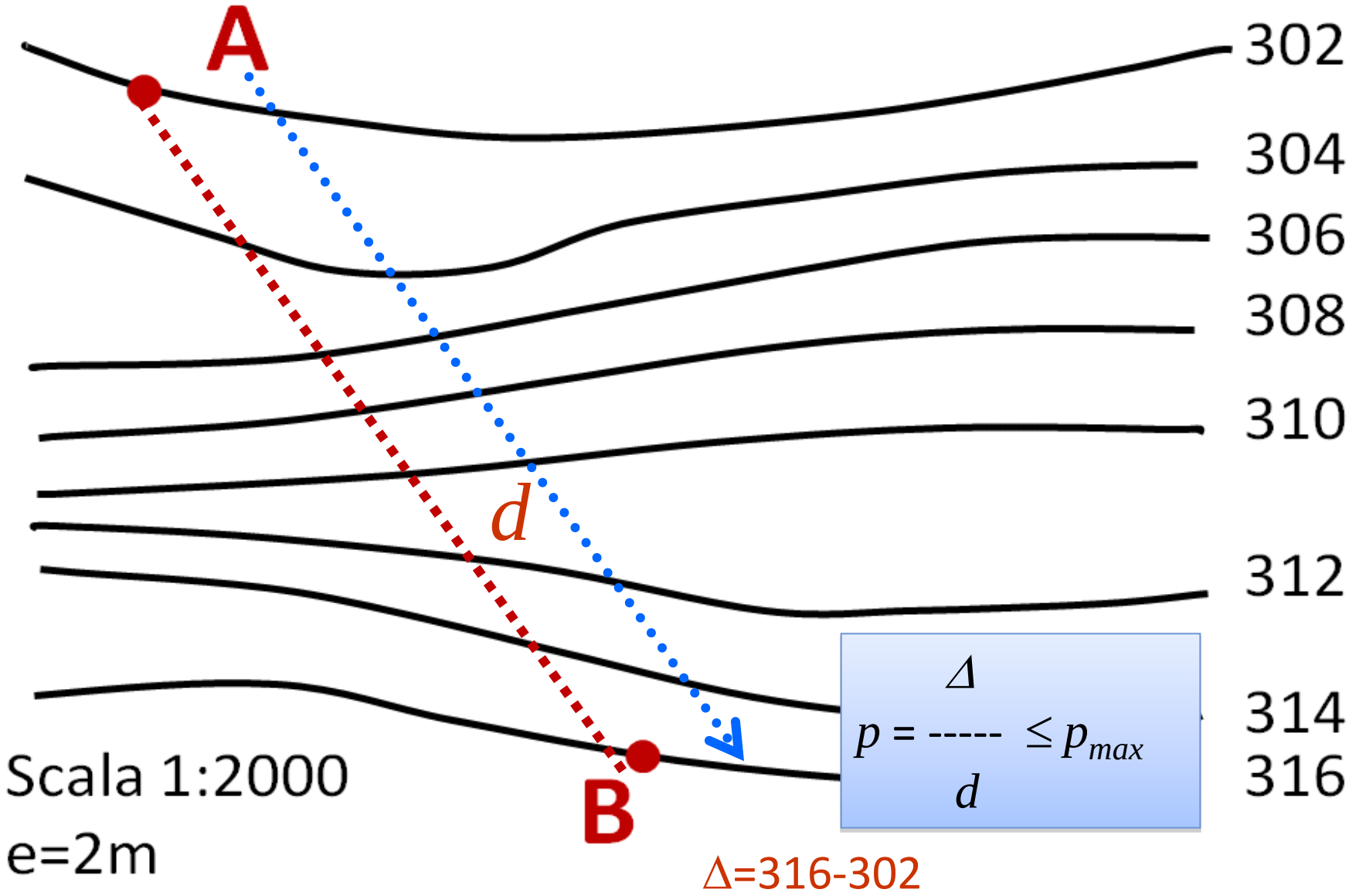
COLLEGAMENTO DIRETTO
(utilizzabile in pianura o su terreni con modeste variazioni altimetriche)



TRACCIOLINO
(utile per zone collinari e montane)



PERCHE' SI EVITA IL COLLEGAMENTO DIRETTO NELLE ZONE NON PIANEGGIANTI



IL TRACCIOLINO

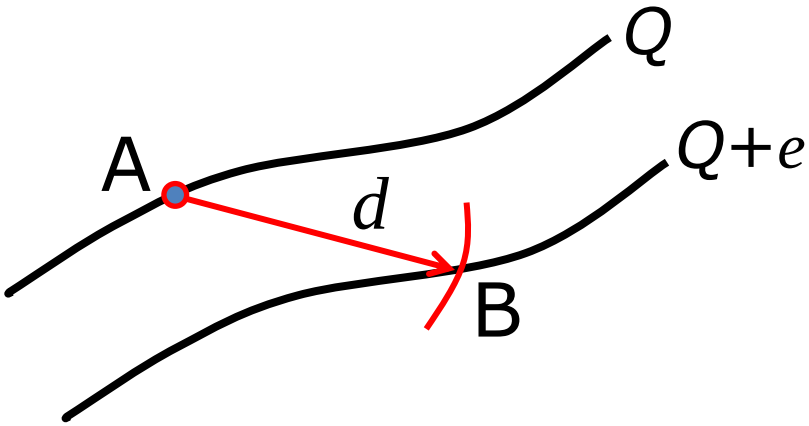
Percorso costituito da una spezzata che **collega** a **pendenza costante** gli estremi della strada e che si sviluppa a **livello del terreno**.

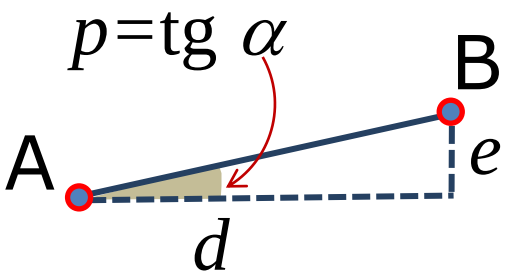
I segmenti della spezzata sono di **lunghezza fissa** e collegano via via due isoipse successive.

I tracciolini sono da considerare delle guide preliminari e costituiscono la **base di riferimento** per individuare le possibili zone interessate dal percorso.

COSTRUZIONE DEL TRACCIOLINO

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**:

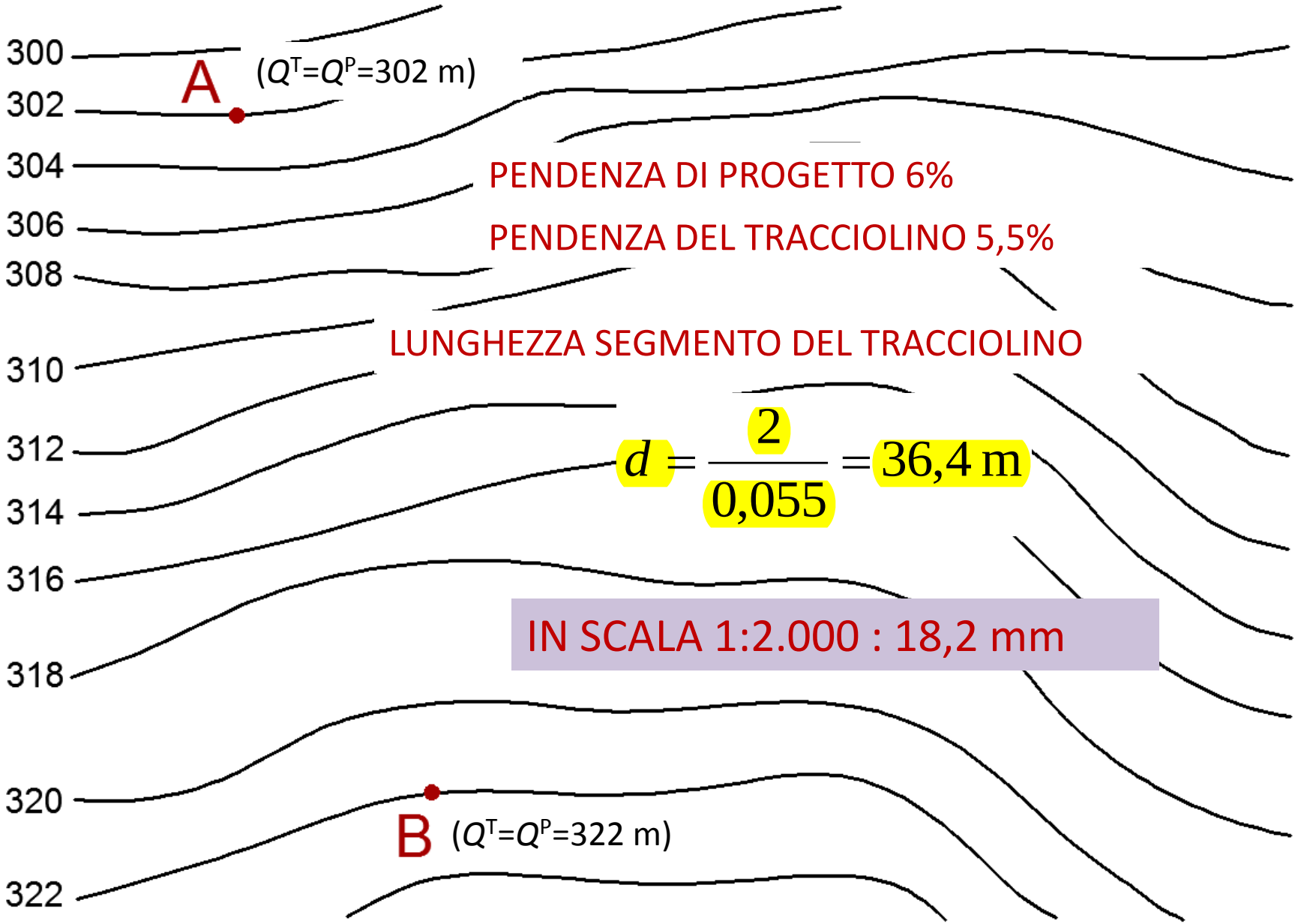




$$d = \frac{e}{p}$$

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

ESEMPIO con p_{max} stabilita = 6%



PENDENZA DI PROGETTO 6%

PENDENZA DEL TRACCIOLINO 5,5%

LUNGHEZZA SEGMENTO DEL TRACCIOLINO

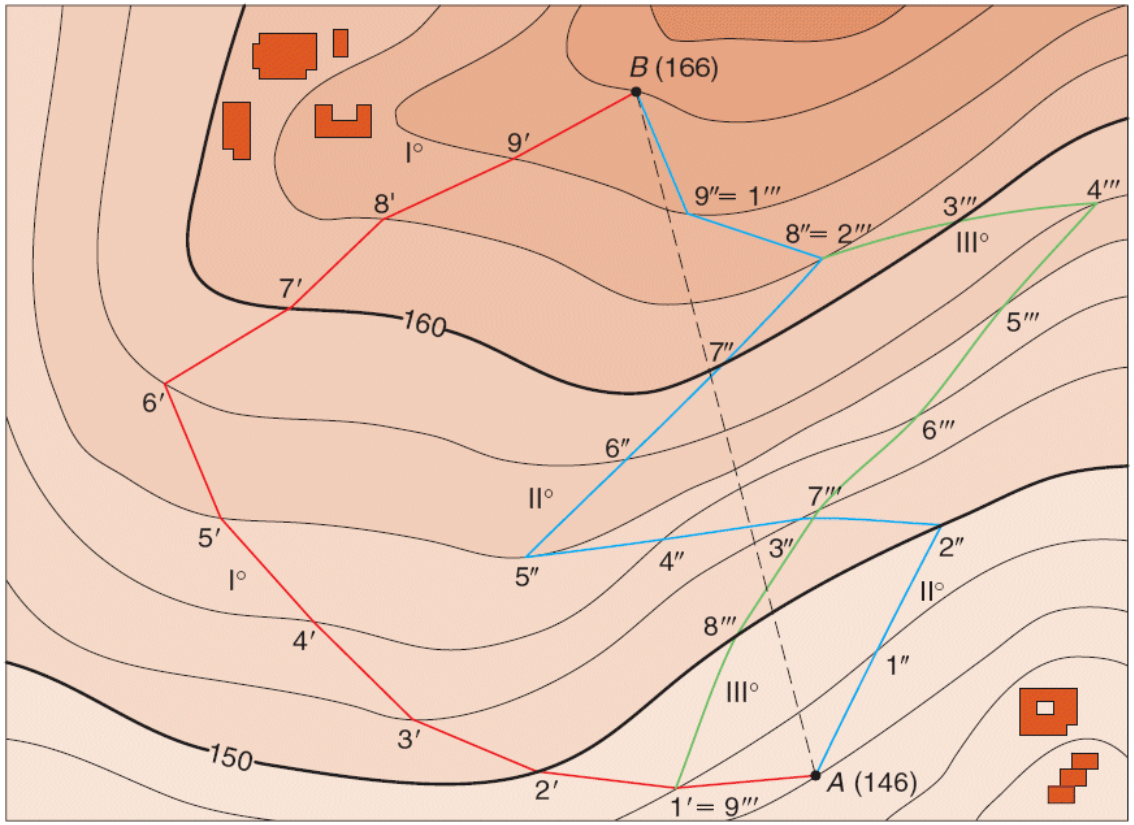
$$d = \frac{2}{0{,}055} = 36{,}4\ \mathrm{m}$$

IN SCALA 1:2.000 : 18,2 mm

SCALA 1:2.000 ; e=2 m

SCELTA DEL TRACCIOLINO MIGLIORE

- 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

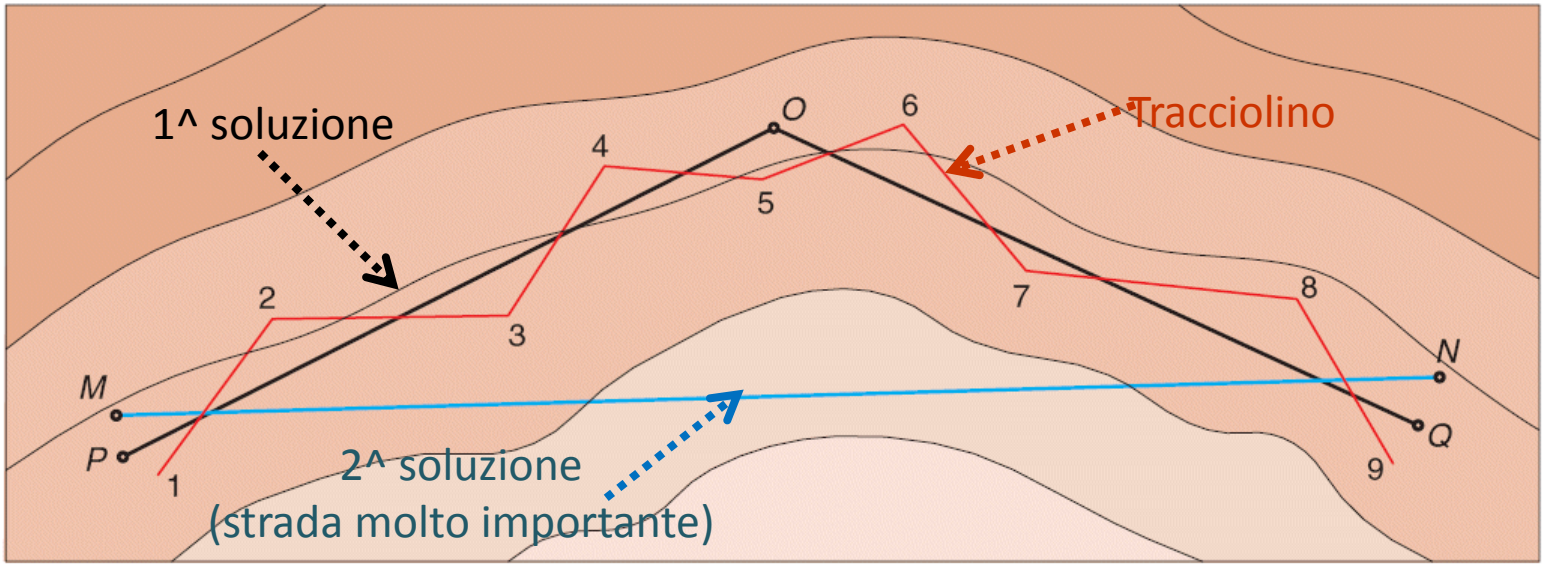
- Il percorso non dovrà presentare eccessive tortuosità.
- Il percorso dovrà essere il più breve possibile.
- Le opere d'ingegneria (muri, ponti, gallerie ecc.) dovranno essere limitate.
- Occorrerà evitare terreni geologicamente non idonei o male esposti e zone vincolate.

LA RETTIFICA DEL TRACCIOLINO

- 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.

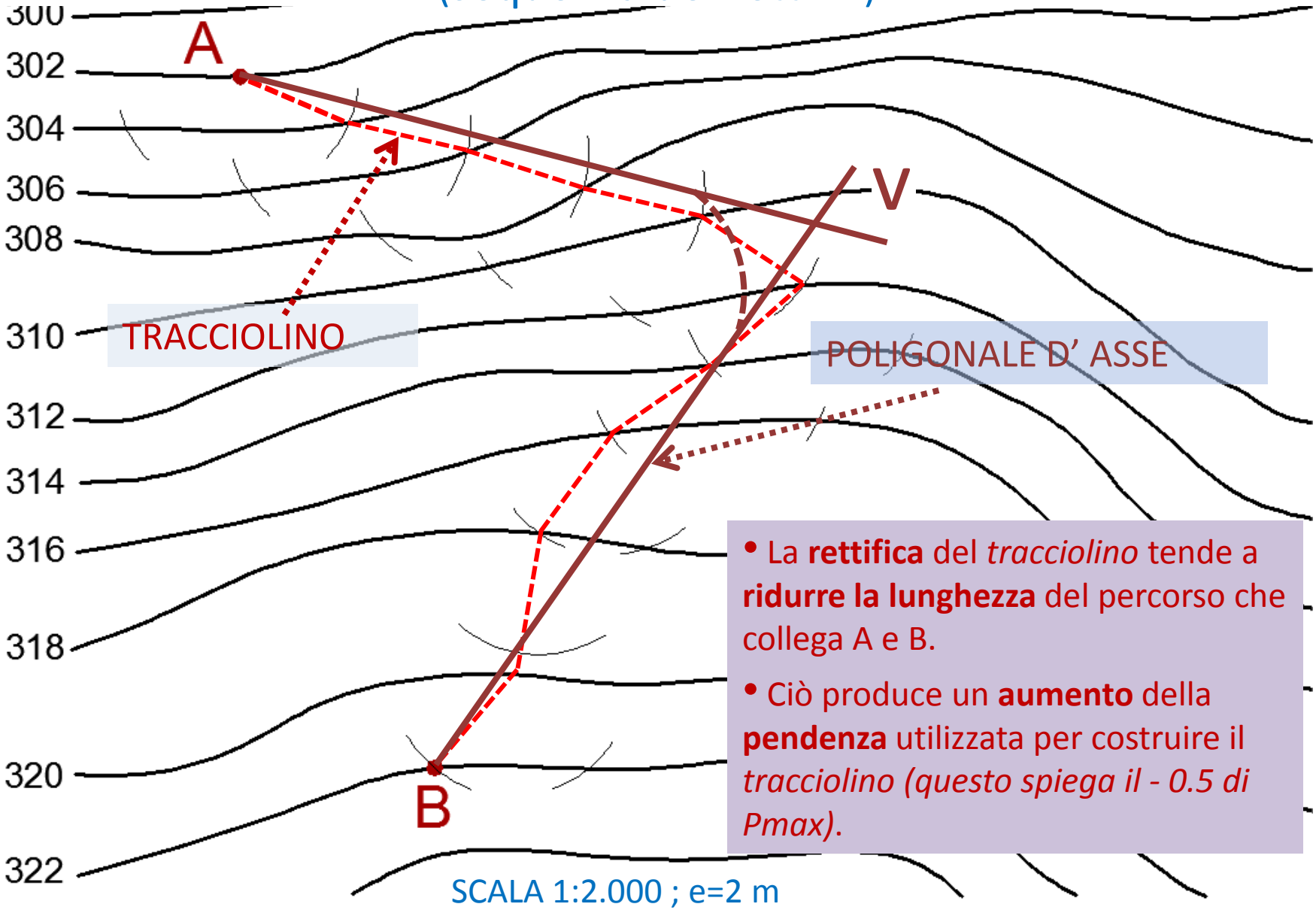
- È allora necessario **sostituire** al tracciolino una spezzata costituita da un numero **decisamente inferiore** di tratti rettilinei, che costituirà la sequenza dei **rettifili** della futura strada. Essa viene detta **poligonale d'asse**.

- 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**.



RETTIFICA DEL TRACCIOLINO

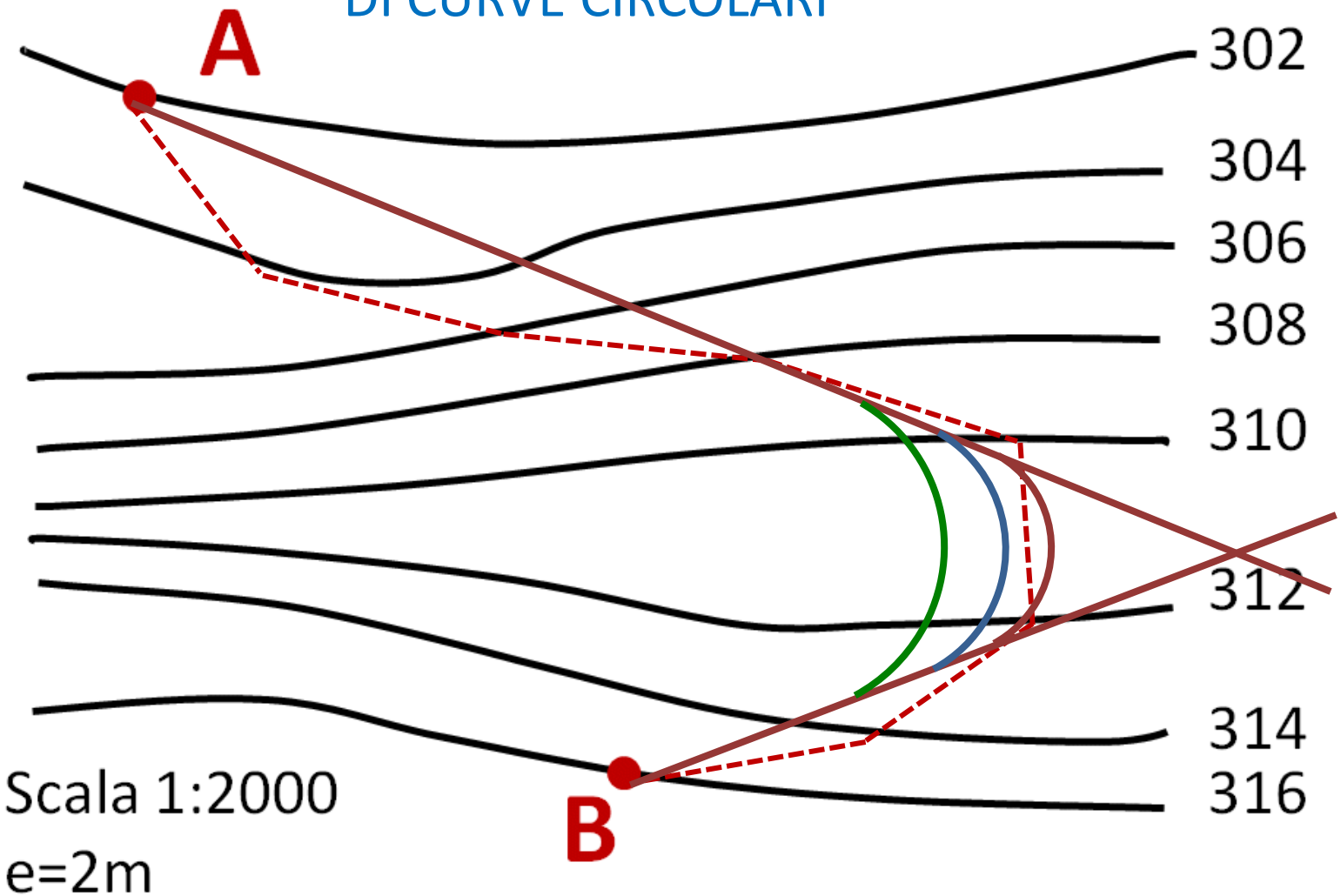
(sequenza dei rettifili)



- La **rettifica** del *tracciolino* tende a **ridurre la lunghezza** del percorso che collega A e B.
- Ciò produce un **aumento** della **pendenza** utilizzata per costruire il *tracciolino (questo spiega il - 0.5 di Pmax)*.

SCALA 1:2.000 ; e=2 m

RACCORDO DEI RETTIFILI CON L'INSERIMENTO DI CURVE CIRCOLARI



- I raggi *R* delle curve circolari primitive sono scelti dal progettista in modo da **armonizzare** il percorso stradale. Evitare il più possibile il ricorso ai tornanti.
- Tuttavia il loro raggio *R* non deve mai essere inferiore al valore limite del **raggio minimo** R_{min}.

IL TRACCIATO STRADALE: i rettifili

Il tracciato è composto dalla sequenza dei **rettifili** e delle **curve** che li raccordano. Evitare la successione curva e controcurva senza rettifilo.

- Le modalità con le quali i **rettifili** (e di conseguenza le **curve**) si succedono dando luogo al **percorso stradale**, dipendono dalla morfologia del terreno, degli **ostacoli** che si trovano sullo stesso percorso, dalle **scelte progettuali**.

- I rettifili non devono essere **troppo lunghi**, dando luogo a tracciati monotoni che compromettono l'attenzione alla guida e che favoriscano il superamento delle velocità consentite, oltre a ridurre le possibilità di *abbagliamento* nella guida notturna e a favorire l'*inserimento* della strada nel territorio.

LUNGHEZZA DEI RETTIFILI (prescrizioni DM 05 nov. 2001)

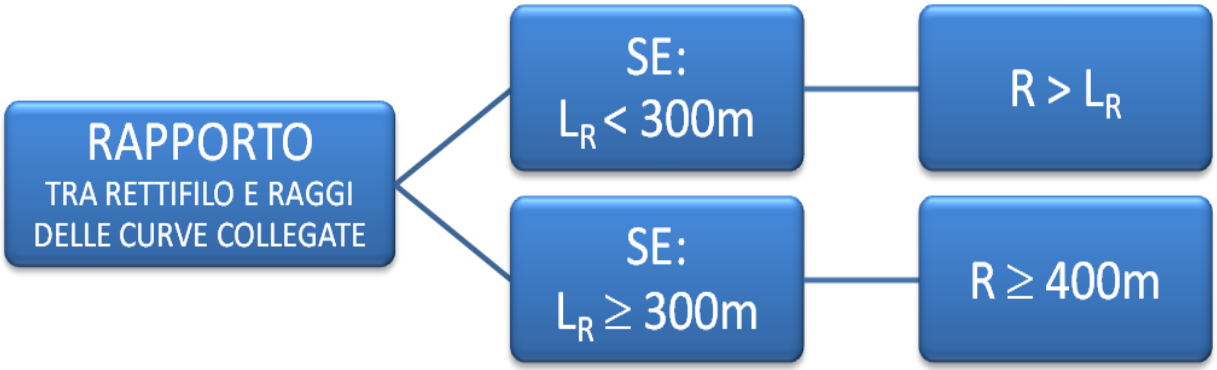
- **Lunghezza massima** (m): $L_R \leq 22 \times V_{p\ (Km/h)}$
- **Lunghezza minima** (tabella sottostante)

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

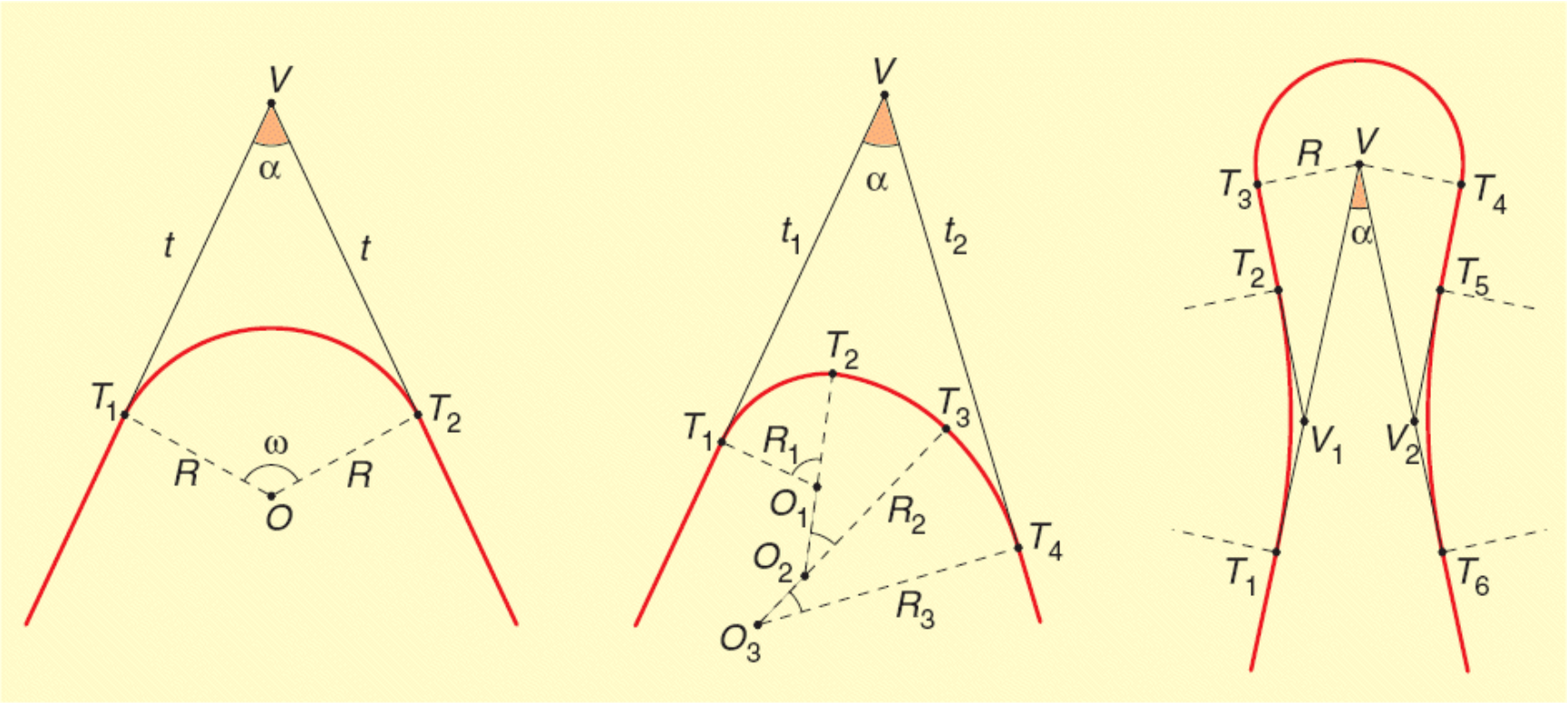
IL TRACCIATO STRADALE : le curve

I raggi *R* delle curve circolari sono scelti in modo da armonizzare e ottimizzare il percorso stradale. Tuttavia la normativa prevede alcune limitazioni alla discrezionalità progettuale.

- Il raggio *R* deve essere sempre maggiore del **raggio minimo** R_{min}.
- Allo scopo poi di evitare brusche variazioni di velocità, tra un *rettifilo* di lunghezza L_R e il raggio *R* **minore**, fra quelli delle **due curve** collegate al rettifilo stesso, deve essere rispettata la relazione:



Dettaglio TIPOLOGIE CURVE CIRCOLARI

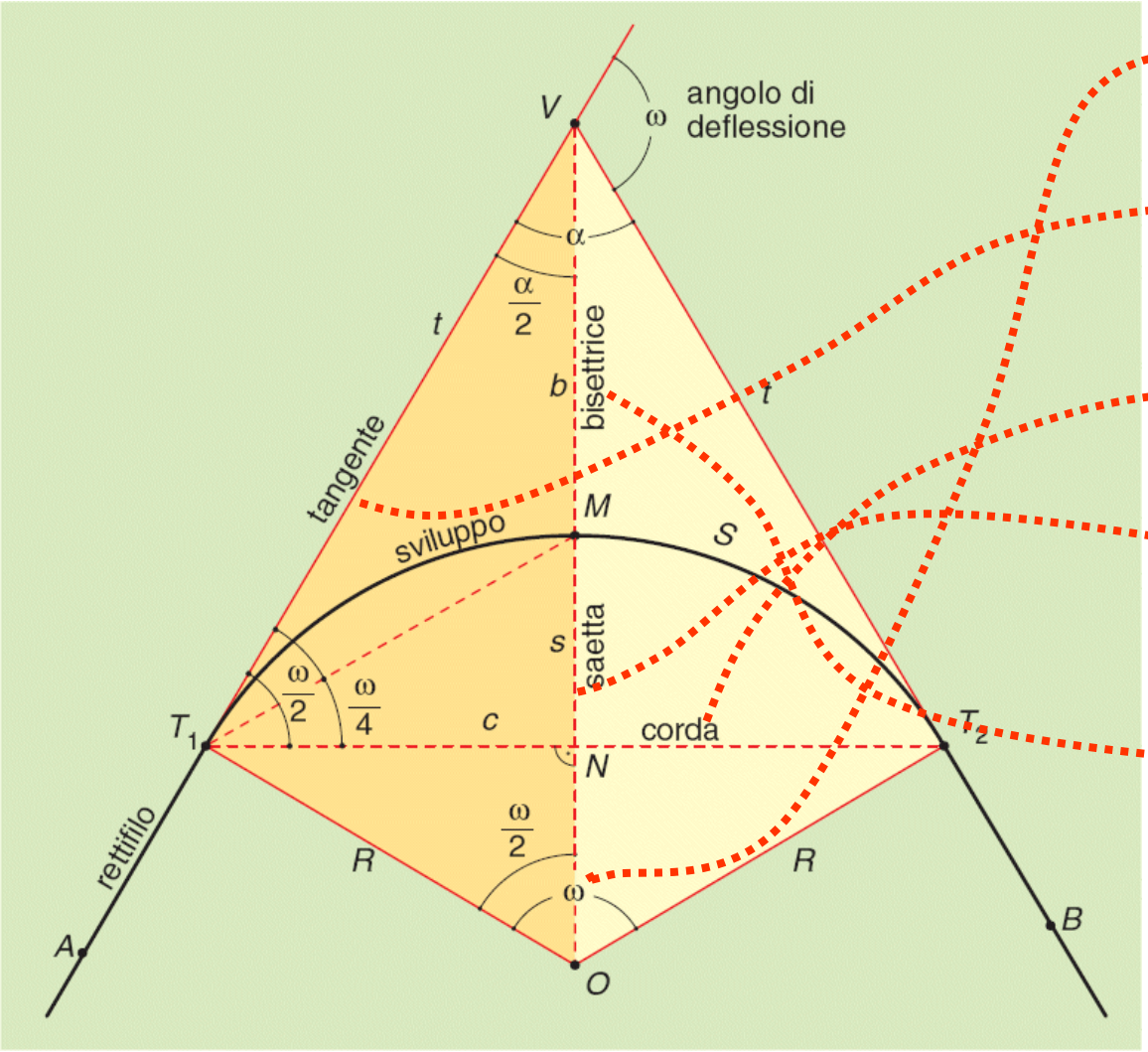


INTERNA MONOCENTRICA

INTERNA POLICENTRICA

ESTERNA (TORNANTE)

Dettaglio GEOMETRIA DELLE CURVE CIRCOLARI



$$\omega = 180° - \alpha$$

$$t = R \cdot \mathrm{tg}\, \omega /2$$

$$t = R \cdot \mathrm{cotg}\, \alpha /2$$

$$c = 2\, R \cdot \mathrm{sen}\, \omega /2$$

$$s = R\ \ (1 - \cos \omega /2)$$

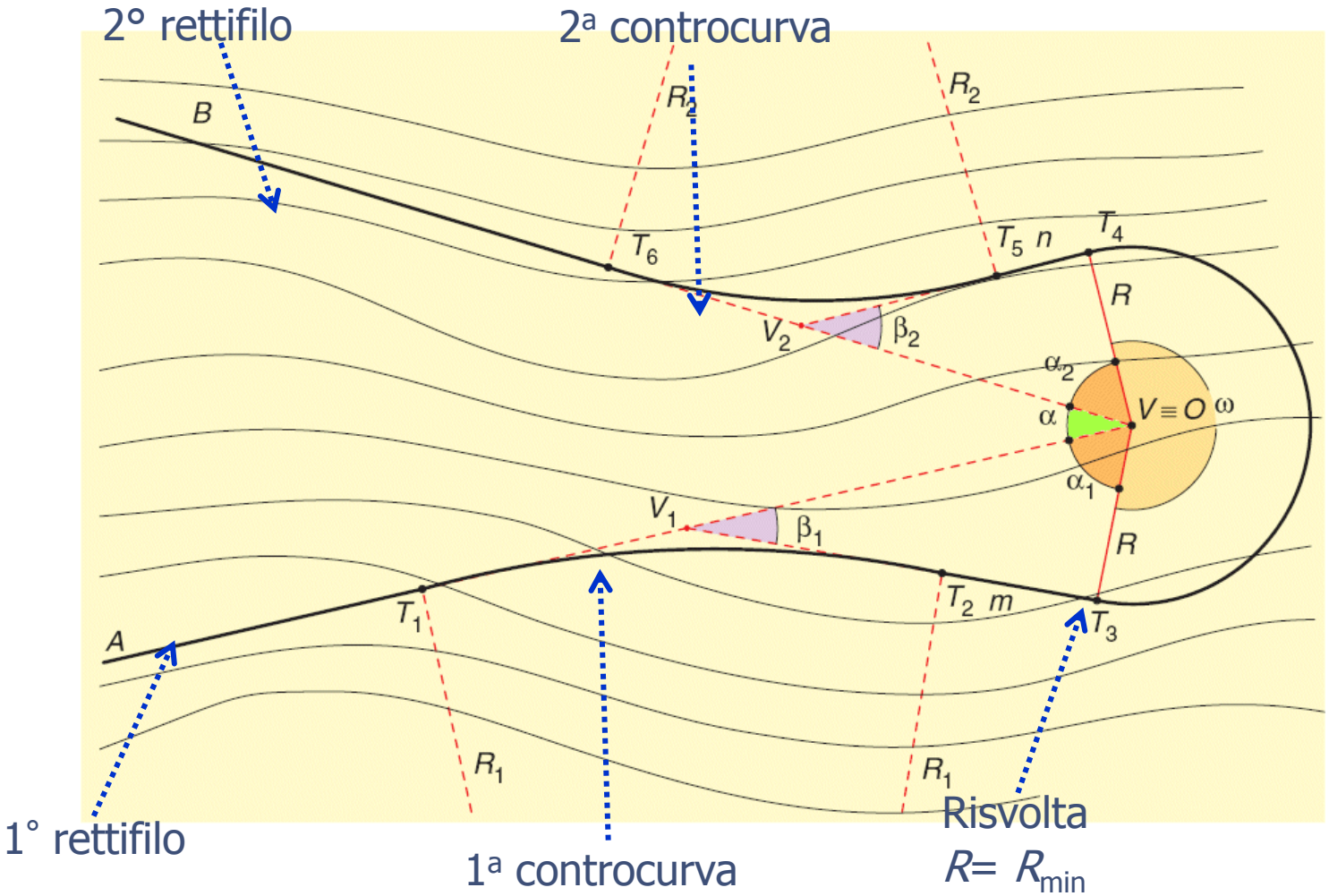
$$s = 2\, R \cdot \mathrm{sen}^2\, \omega /4$$

$$b = \frac{s}{\cos \omega /2}$$

$$S = \frac{R \cdot \omega \cdot \pi}{180°}$$

$$S = R \cdot \omega^{rad}$$

… E DEI TORNANTI (pendenza sviluppo ≤ 2-3%)



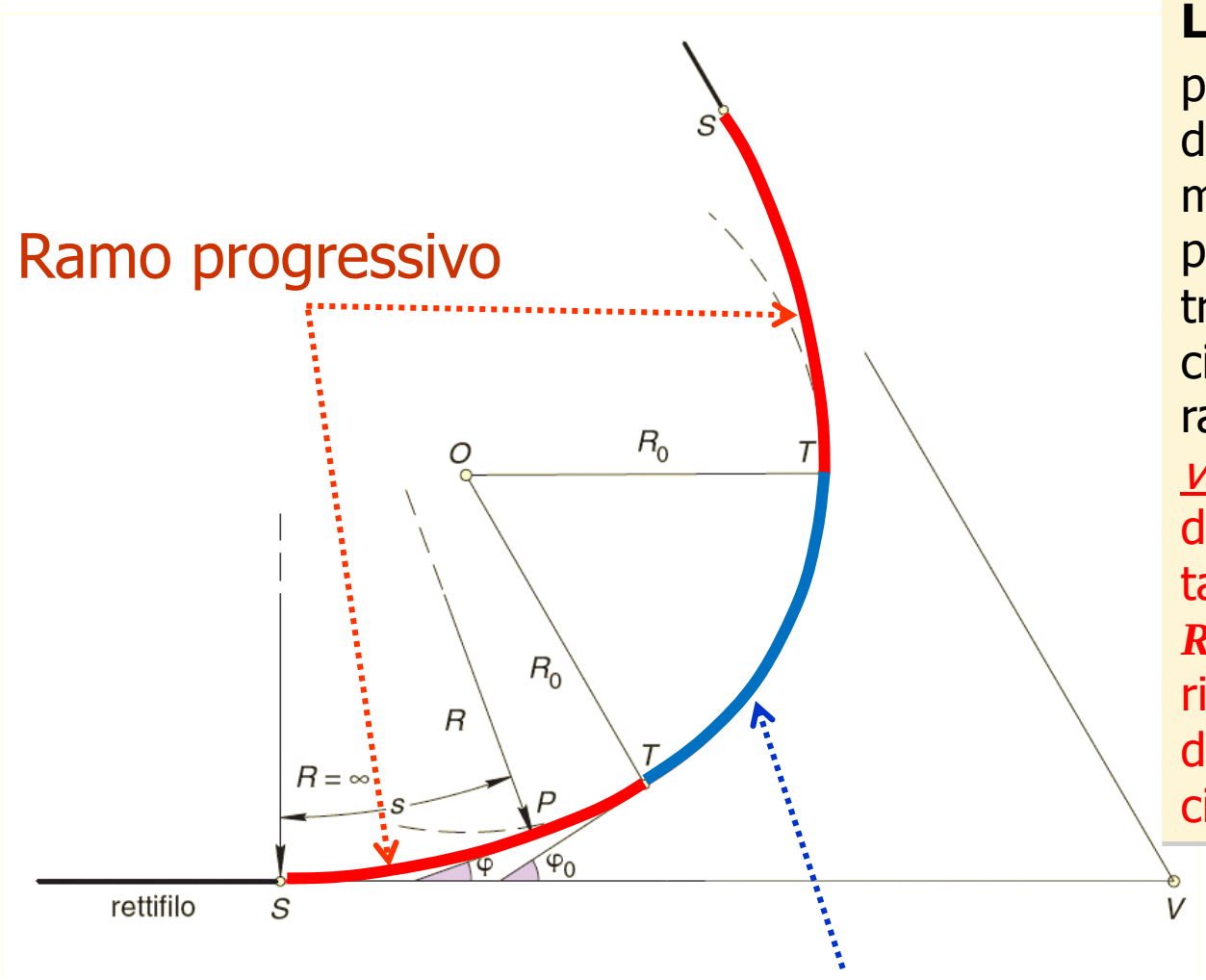
LE CURVE PROGRESSIVE

- Le norme non consentono di raccordare i rettifili **diretta-mente** con curve circolari, ma prescrivono che tra rettifilo e curva circolare sia **interposto un tratto a raggio variabile (**curva CLOTOIDE, della famiglia delle spirali**).**

- Si tratta di elementi curvilinei con raggio R gradualmente calante tra un valore **infinito**, in corrispondenza dei rettifili, e il **valore** R_0 della curva circolare; all'uscita della curva sarà simmetricamente crescente.

- **IL MOTIVO** dei tratti di curvatura a raggio variabile nasce dal favorire e rendere più sicura l'azione sterzante per il passaggio dal rettifilo alla curva circolare e viceversa.

LE CURVE PROGRESSIVE



Ramo circolare

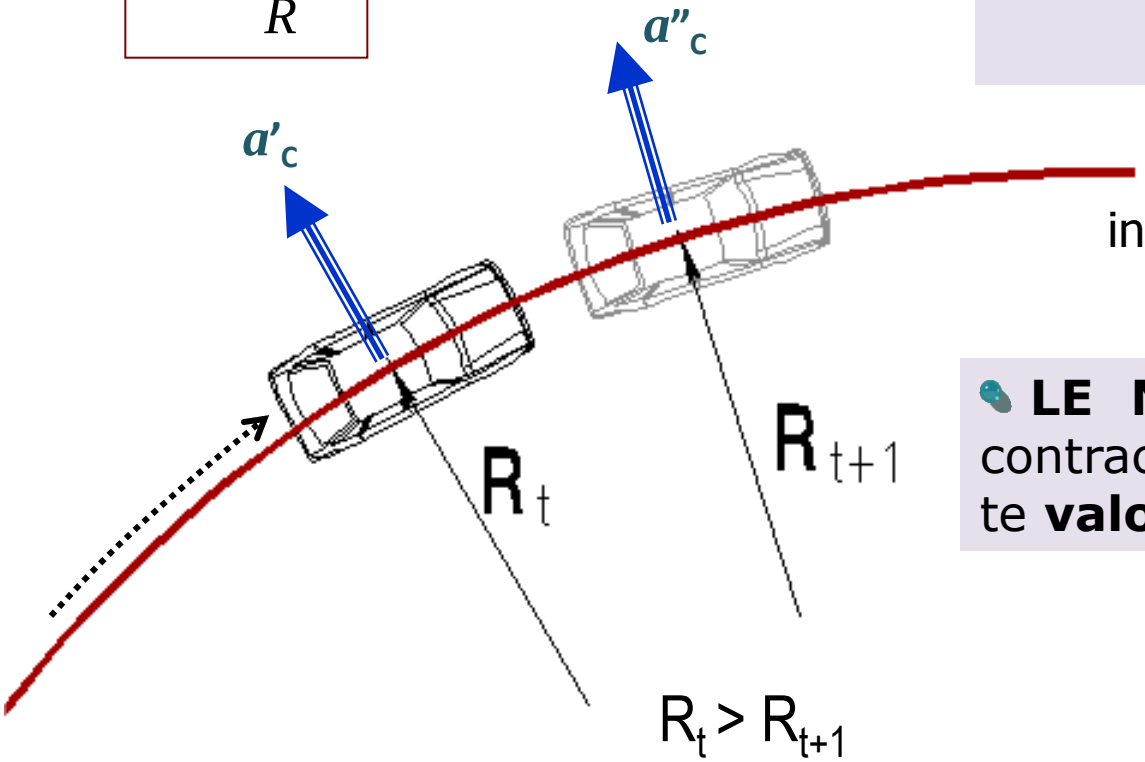
LA SOLUZIONE:

per migliorare le condizioni di efficienza nel moto del veicolo si provvede a **inserire**, tra il rettifilo e la curva circolare, un opportuno raccordo di raggio ***R*** *variabile* con continuità da ***R*** = ∞, sul punto di tangenza col rettifilo, a ***R*** = R_0 in corrispondenza del punto di tangenza con il tratto circolare.

IL CONTRACCOLPO

Accelerazione centrifuga
di un veicolo che percorre la curva
a velocità *v* costante

$$a_C = \frac{v^2}{R} \quad (\mathrm{m/sec^2})$$



- **CONTRACCOLPO**: è la variazione dell'accelerazione centrifuga nella unità di tempo:

$$c = \Delta a / t \ (\mathrm{m/sec^3})$$

in cui: $\Delta a = a''_C - a'_C$

- **LE NORME** prescrivono che il contraccolpo non superi il seguente **valore limite** (m/sec³):

$$c_{max} = \frac{50{,}4}{V_{Psup}}$$

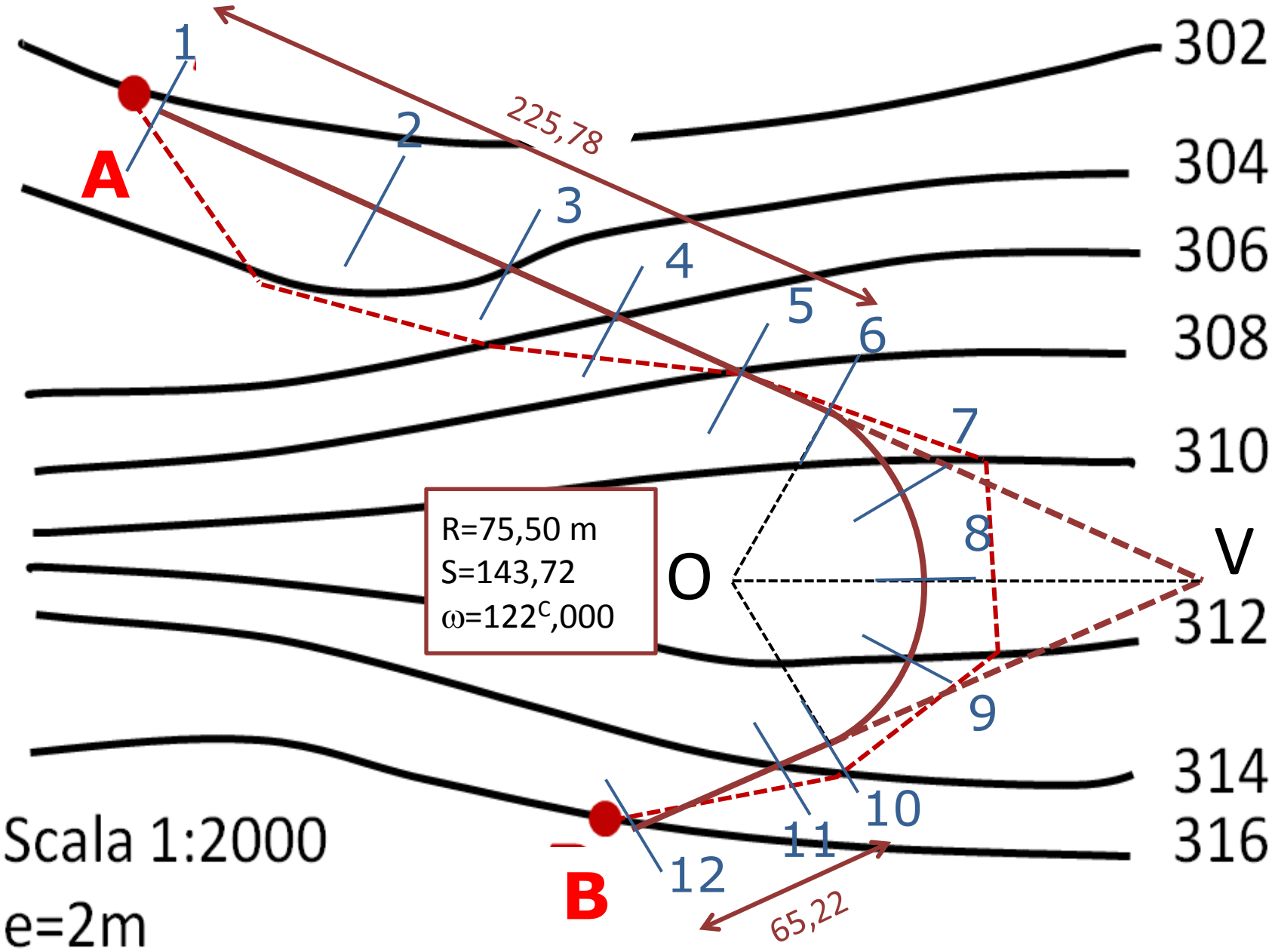
INDIVIDUAZIONE DELLE SEZIONI

Le sezioni sono punti significativi appartenenti all'asse stradale utilizzate per **discretizzare, modellare** e, successivamente, per **materializzare** il progetto sul terreno nelle operazioni di tracciamento
(per analogia al calcolo strutturale, un modellare per ELEMENTI FINITI).

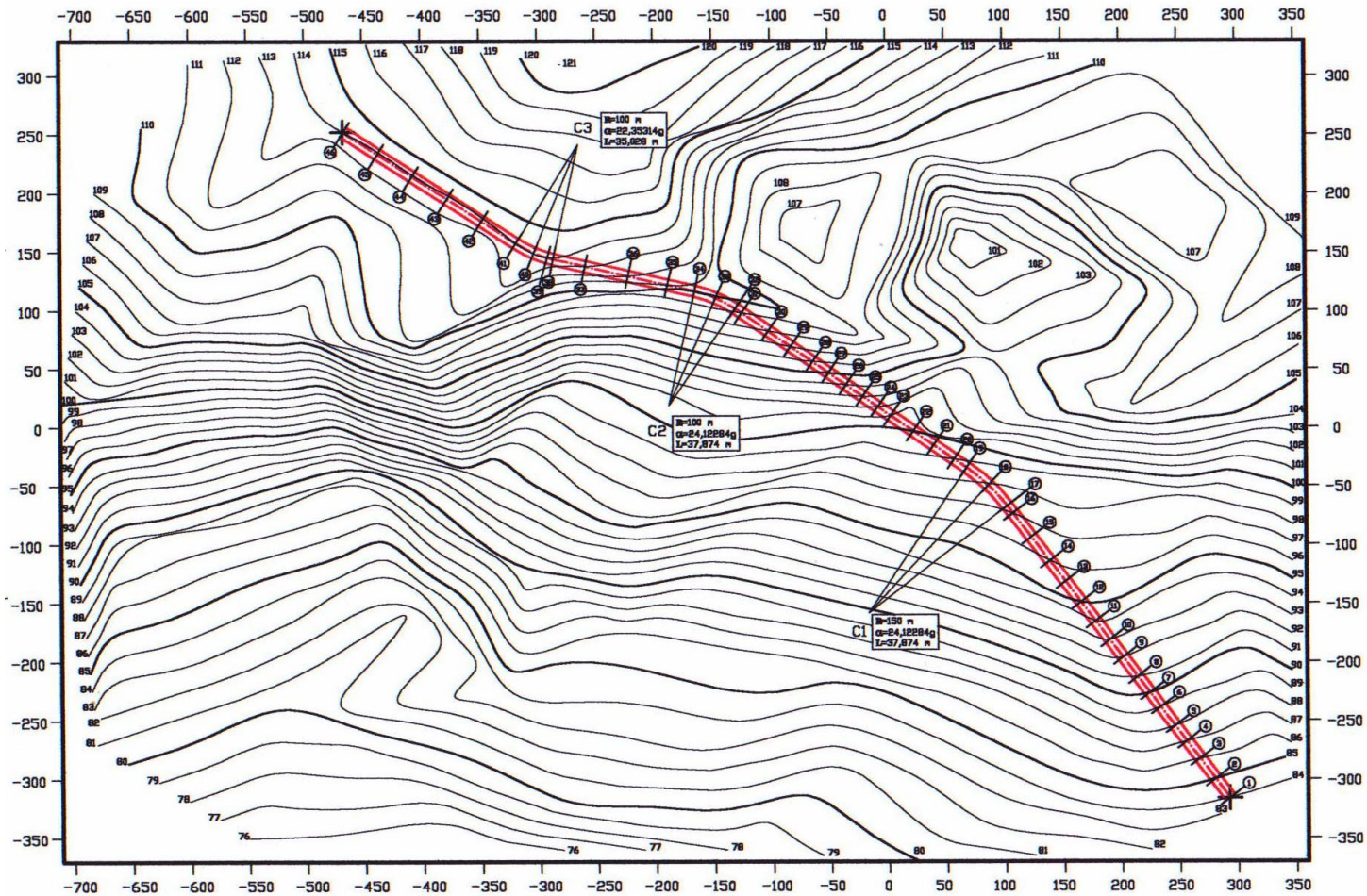
Esse vengono **numerate progressivamente** e sono individuate sulla planimetria con i seguenti criteri:

- all'**inizio** e alla **fine** della strada;
- quando l'asse stradale **interseca le curve di livello**;
- nei punti **caratteristici delle curve** (punti di tangenza e medio);
- nei punti di **divisione delle curve** (1/4, 1/6 ecc.);
- all'**inizio** e alla **fine** di ogni **manufatto** (tombini, muri, viadotti ecc.);
- in corrispondenza di **intersezioni con altre strade**;
- evitare distanze tra due sezioni consecutive superiori a 40-50 m.

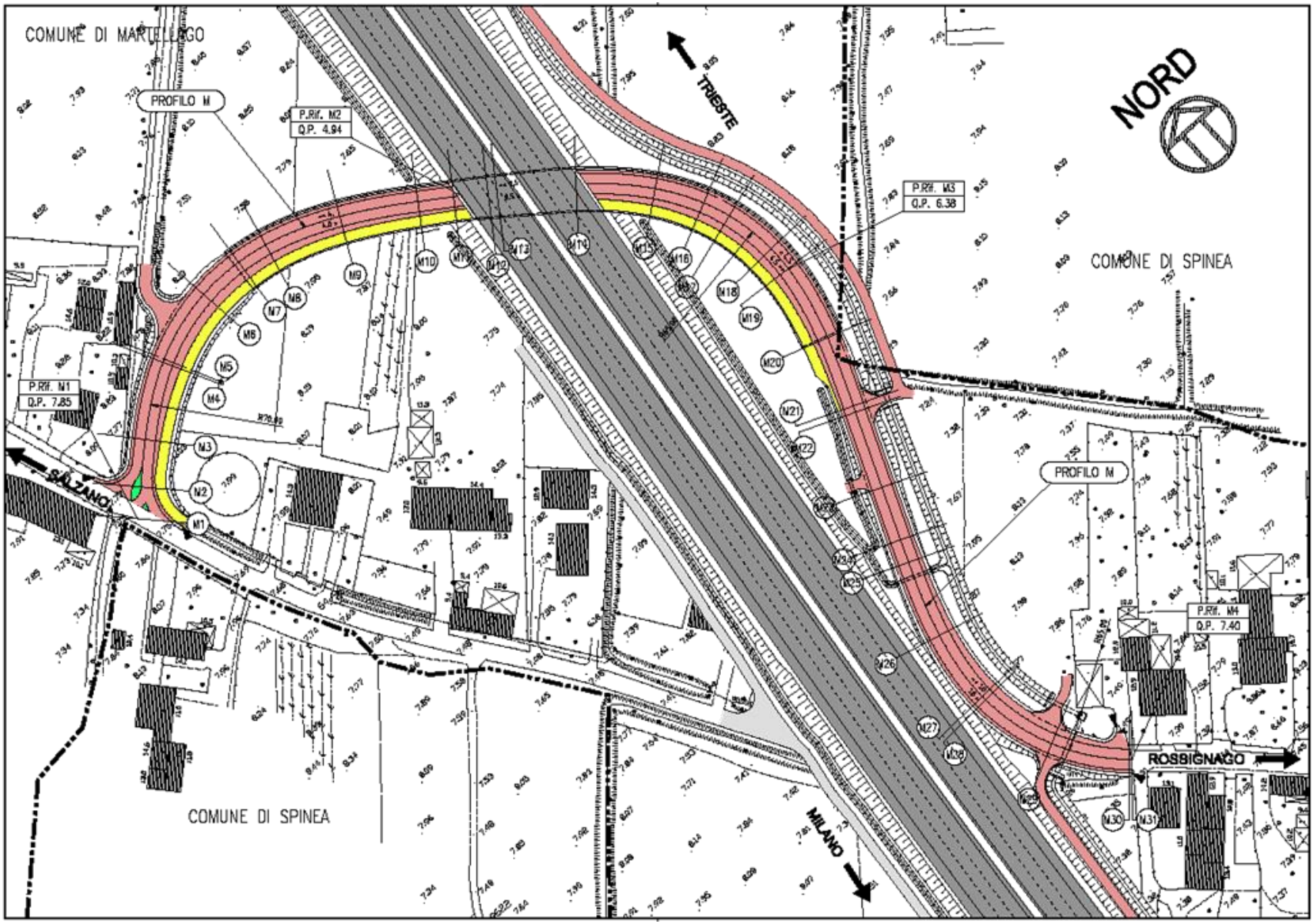
SEZIONI E QUOTATURA DI RETTIFILI E CURVE



ANDAMENTO DELL'ASSE STRADALE IN COLLINA: esempio



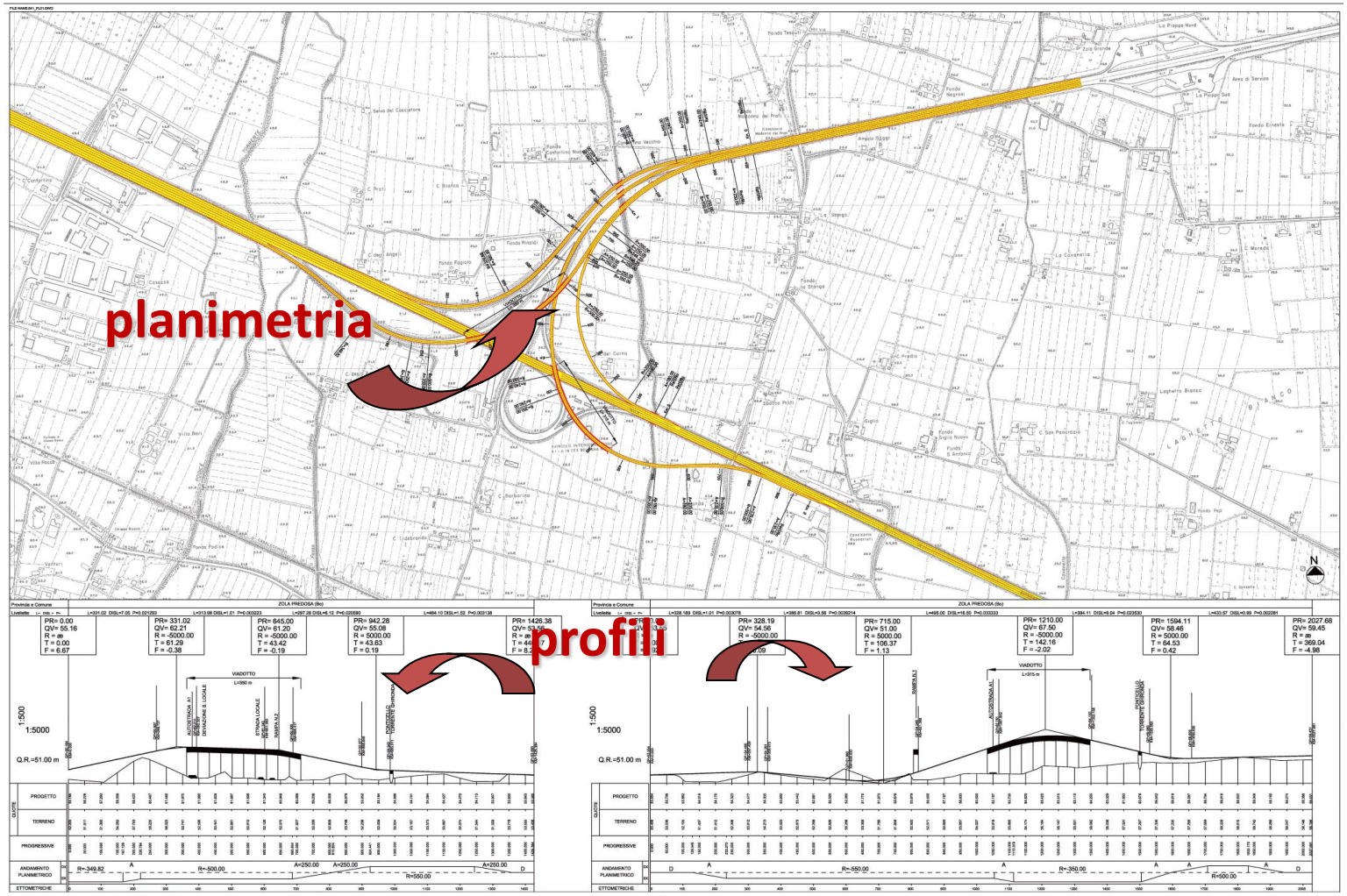
LA PLANIMETRIA: esempio



L’ ANDAMENTO ALTIMETRICO DELL’ASSE

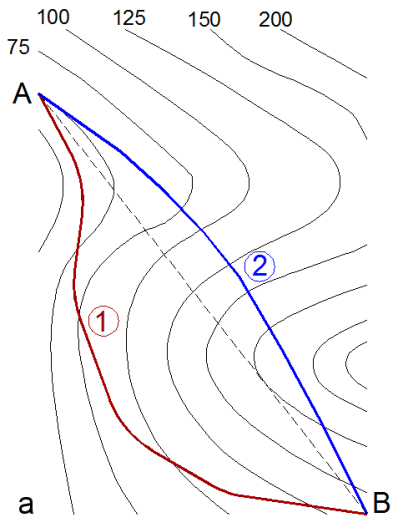
… acrobazie per adagiare la sede stradale nel modo <u>tecnicamente</u> migliore ed <u>economicamente</u> più opportuno sulle e nelle forme del terreno … (F.A.J.)

Esempio di PLANIMETRIA E PROFILO longitudinale per delineare l'andamento planoaltimetrico del tracciato

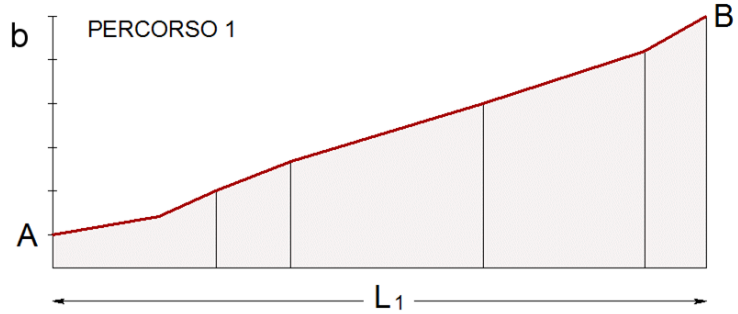


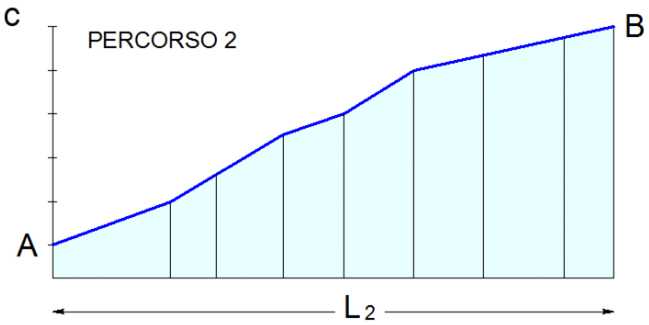
RELAZIONE TRA PLANIMETRIA E PROFILO

- 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.

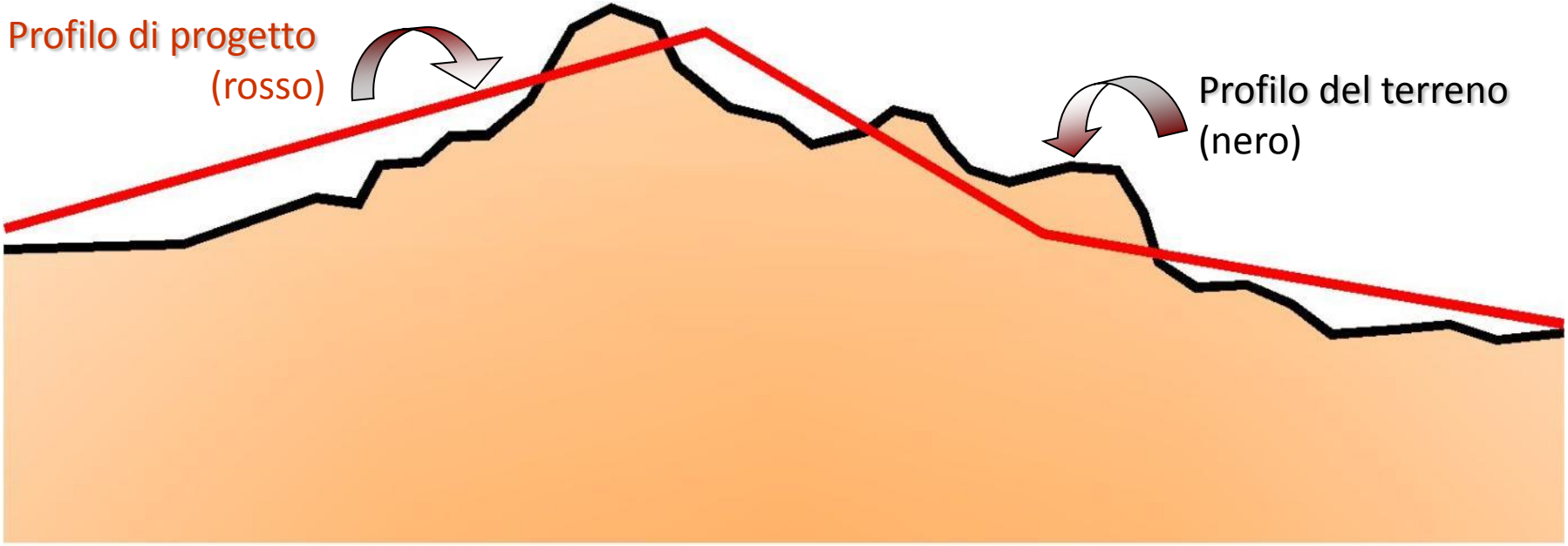




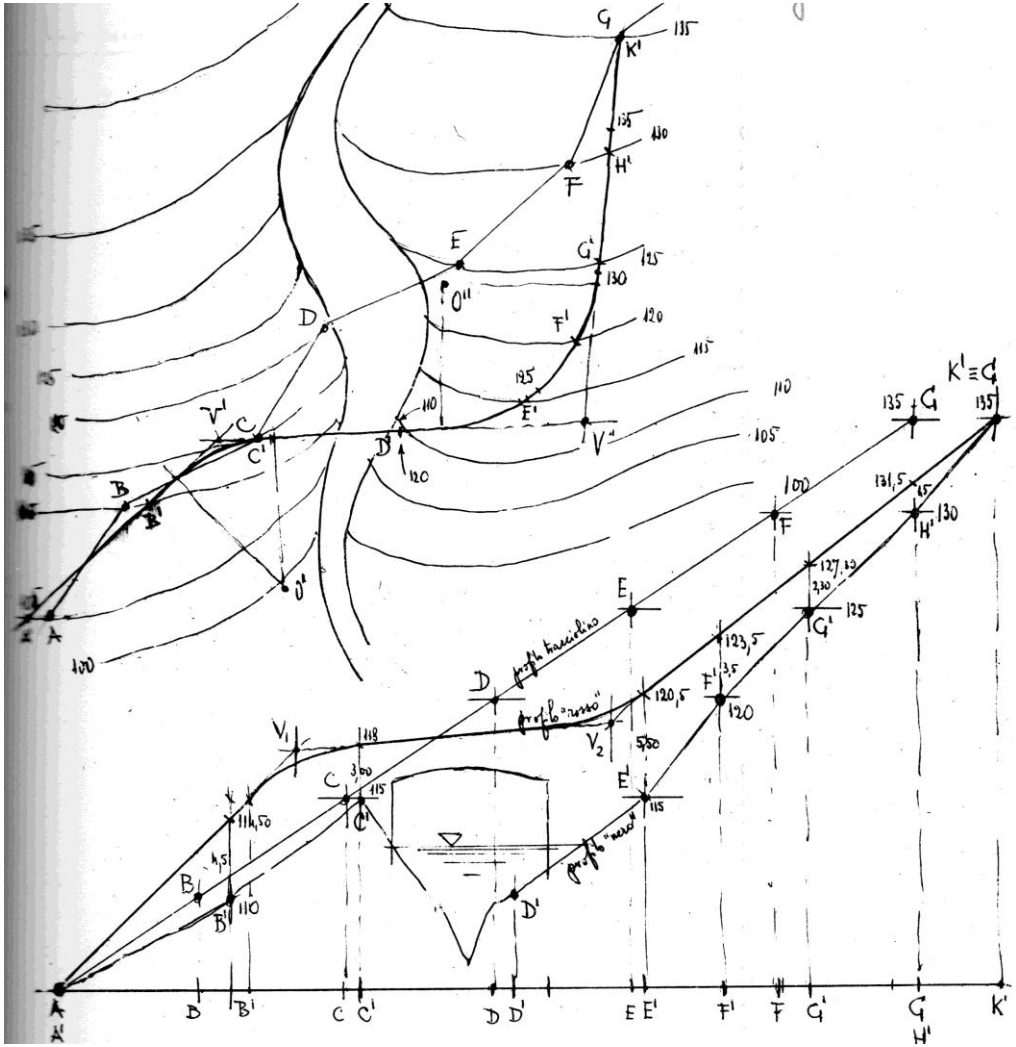
I DUE PROFILI

Esistono **due LINEE** di profilo longitudinale, entrambi realizzati in corrispondenza dell'**asse stradale**. In particolare essi sono riferiti alle **sezioni** individuate durante la stesura della planimetria:

- il **profilo del terreno** (nero);
- il **profilo di progetto** (rosso).



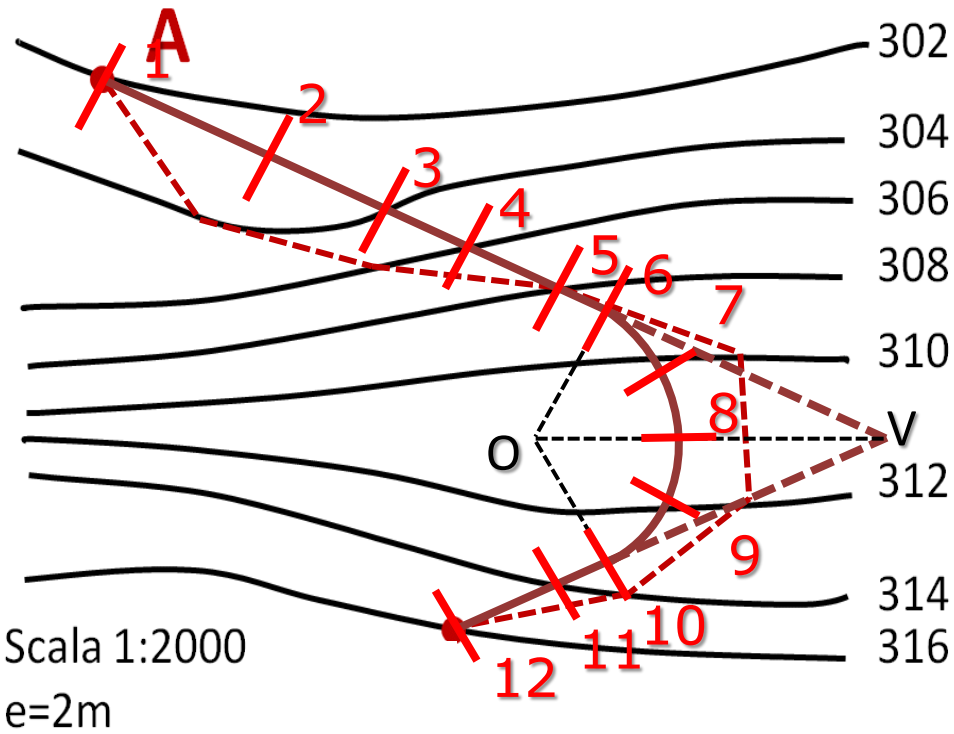
Esempio didattico di studio attraversamento corso d'acqua con planimetria e profili di massima (F.A.J.)

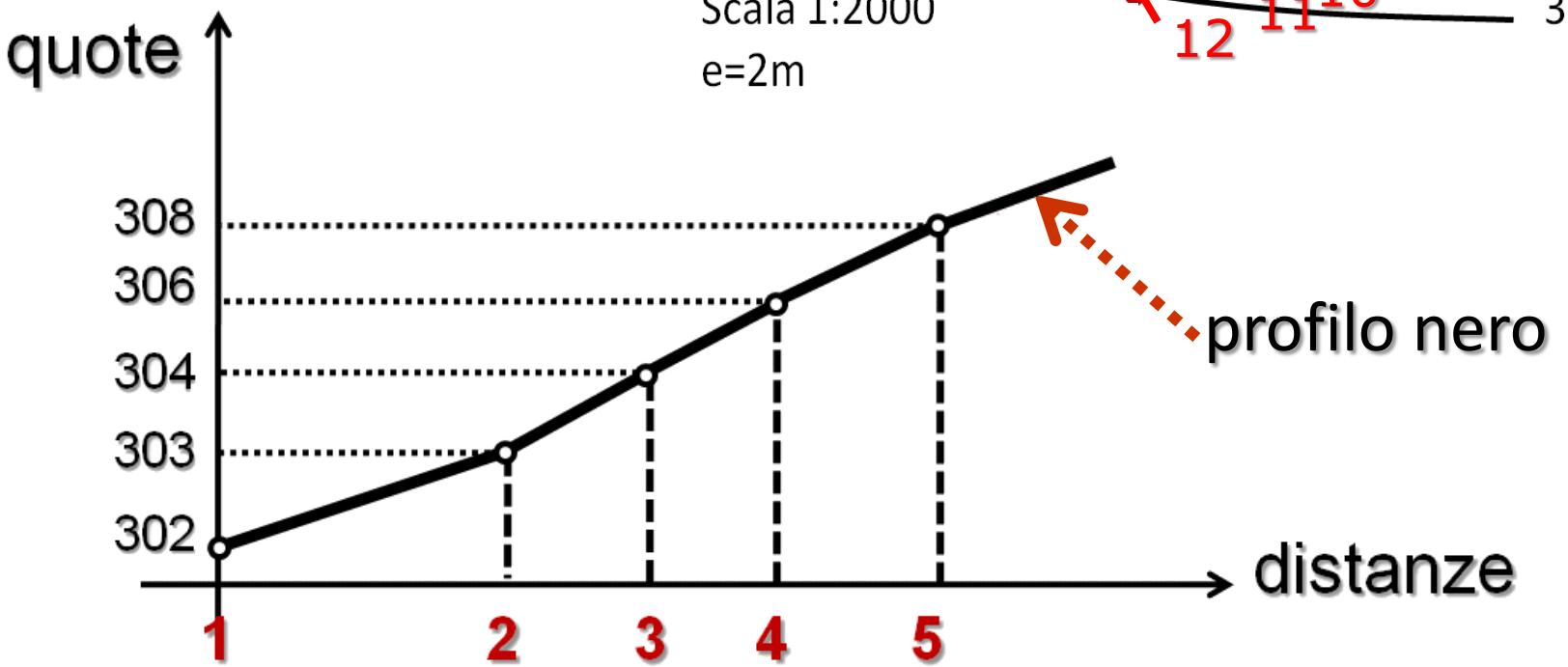


Scelta della zona dove il solco è più stretto e ortogonalmente al filone per maggiore stabilità del terreno ed economicità nella realizzazione

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.

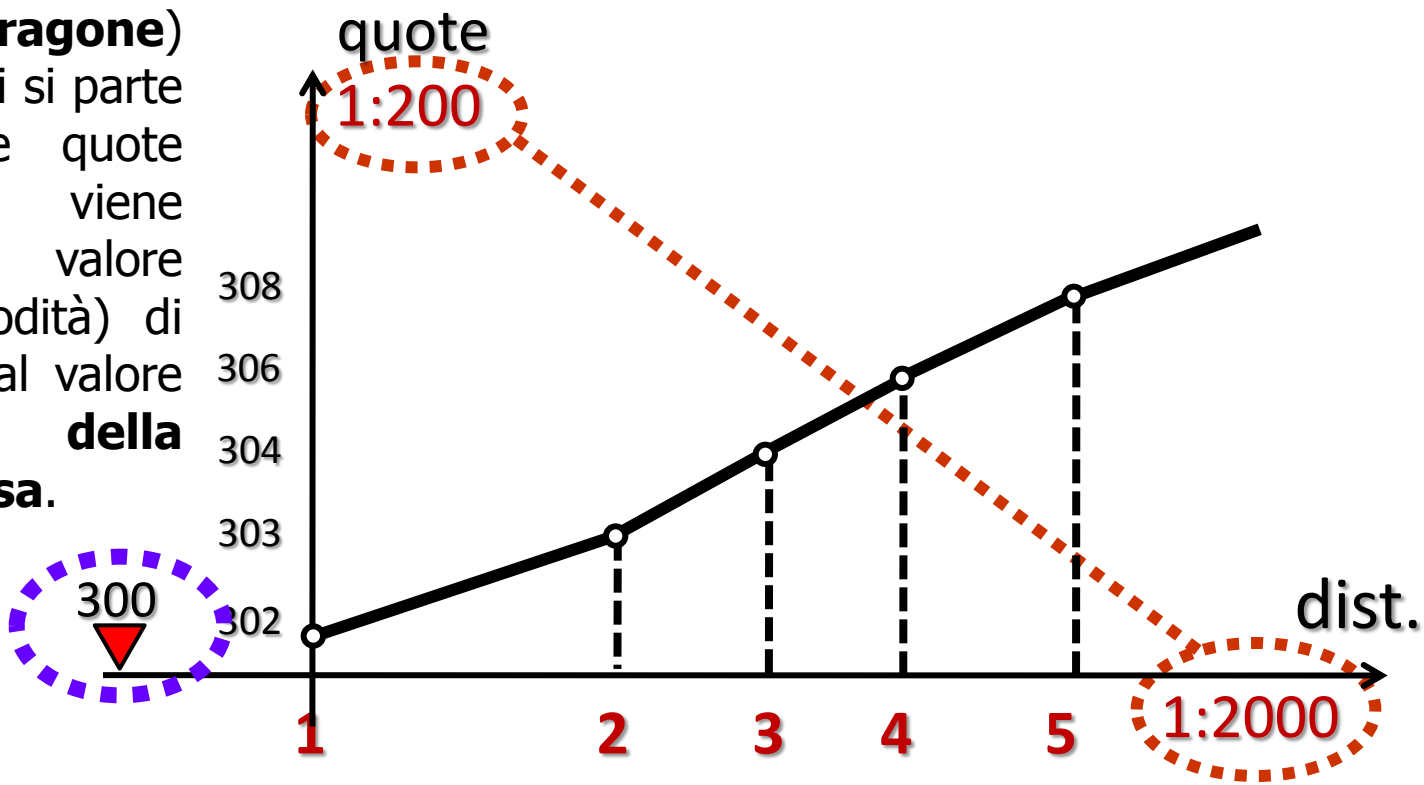




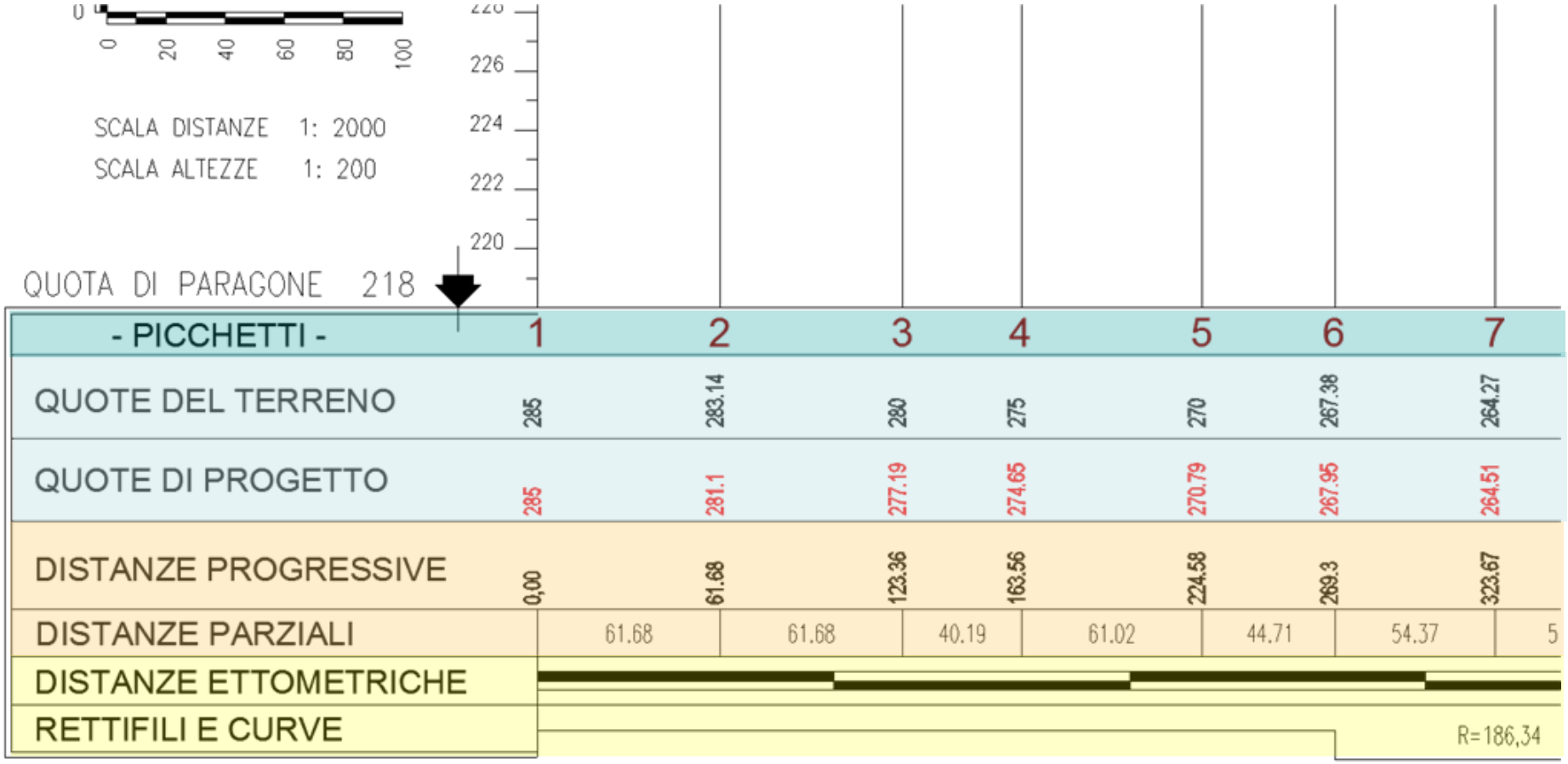
CONVENZIONI NELLA COSTRUZIONE DEL PROFILO TERRENO (nero)

- 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**.

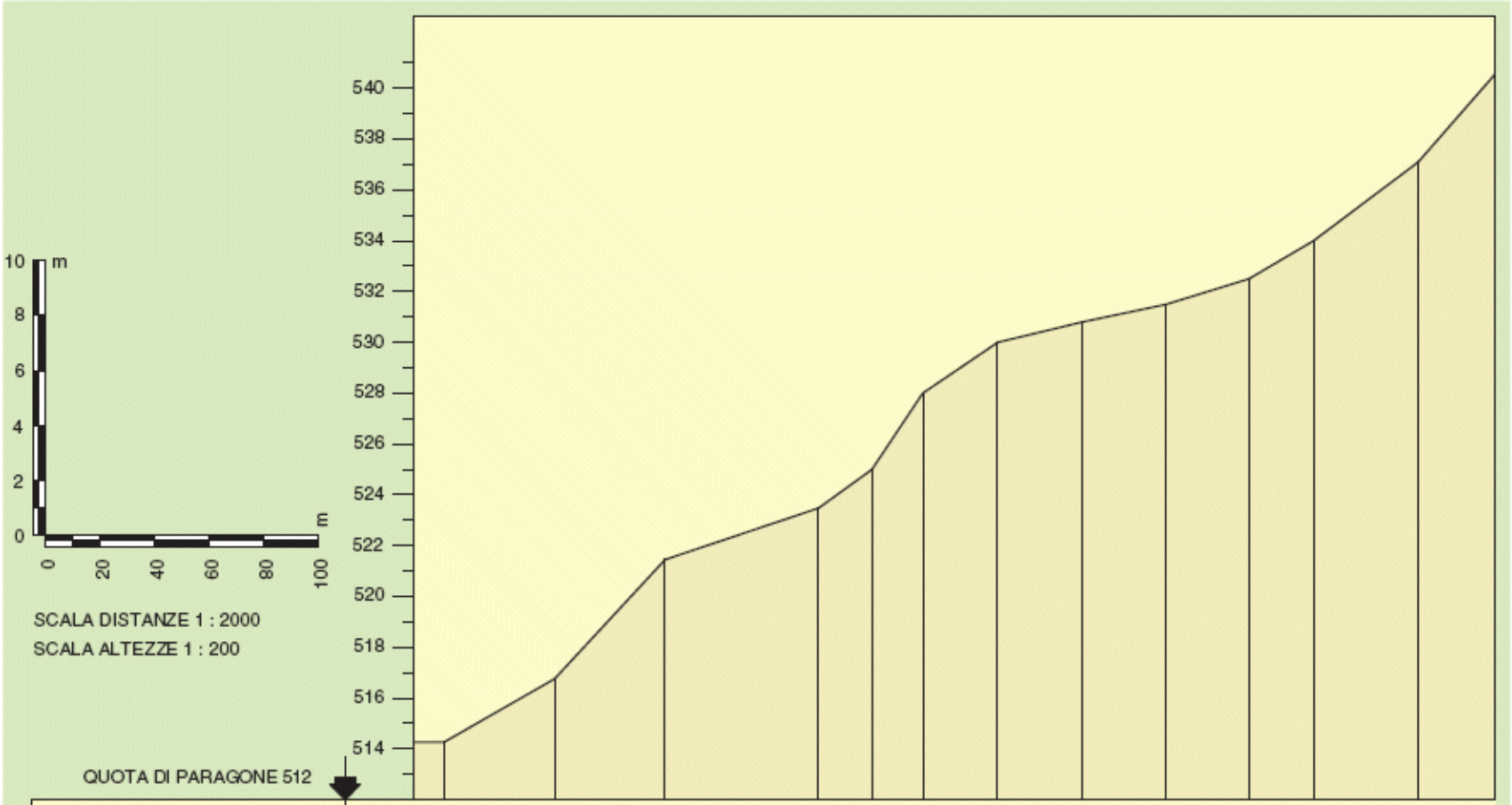
- Al **piano di riferimento** (o di **paragone**) orizzontale, da cui si parte per riportare le quote delle sezioni, viene assegnato un valore intero (per comodità) di **poco inferiore** al valore della **quota della sezione più bassa**.



IL REGISTRO DEL PROFILO

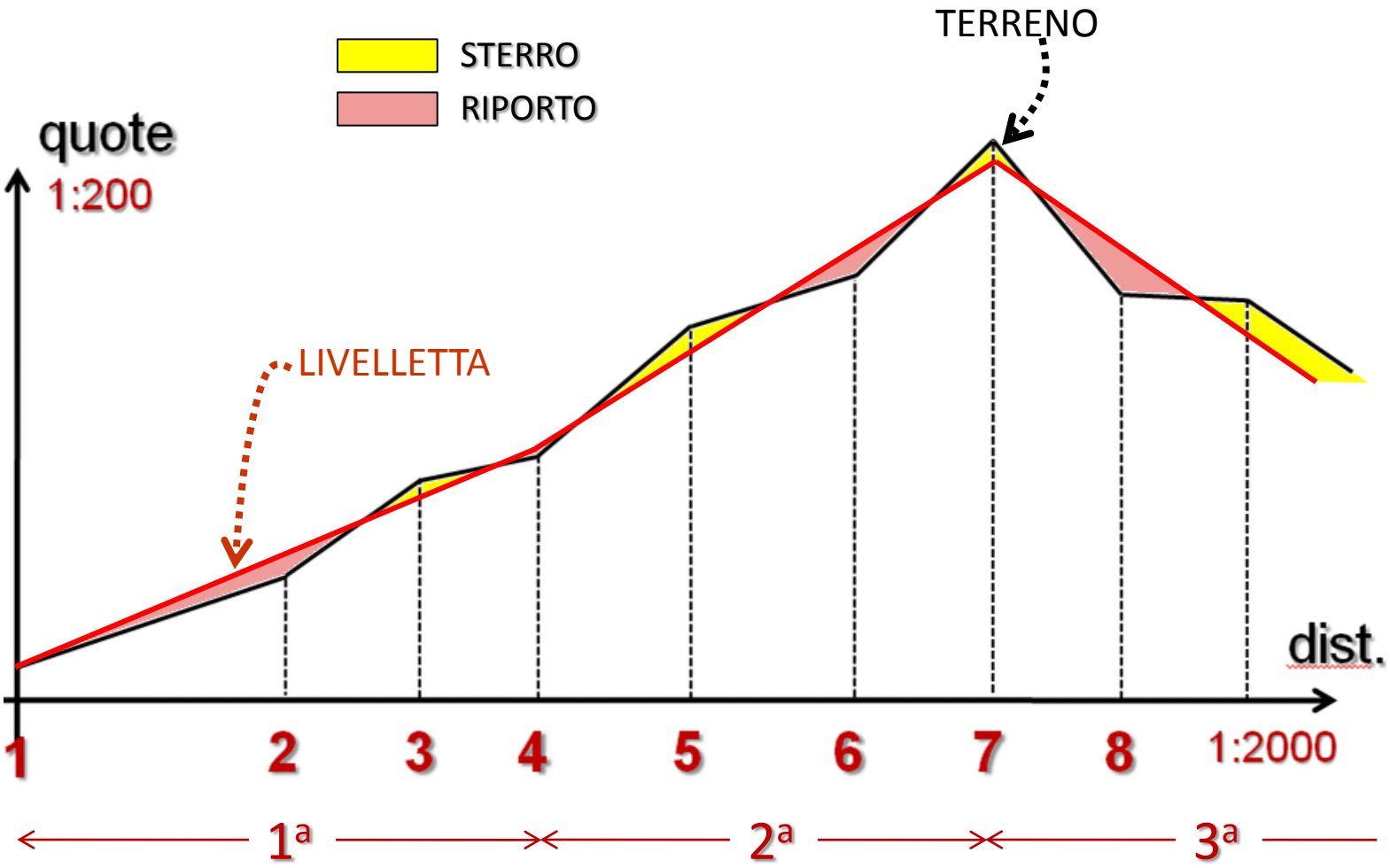


IL PROFILO TERRENO (nero): esempio



PICCHETTI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
QUOTE DEL TERRENO	514,27	514,27	516,76	521,45	523,48	525,00	528,00	530,00	530,80	531,50	532,50	534,00	537,10	540,94
DISTANZE PROGRESSIVE	0,00	12,00	55,50	99,00	159,49	180,49	200,49	229,99	263,21	296,43	328,93	354,43	395,65	425,85
DISTANZE PARZIALI	12	43,5	43,5	60,49	21	20	29,5	33,21	33,22	32,5	25,5	41,22	30,2	
DISTANZE ETTOMETRICHE														

LO STUDIO DEL PROFILO DI PROGETTO (successione delle livellette)



CRITERI PER LO STUDIO DELLE LIVELLETTE

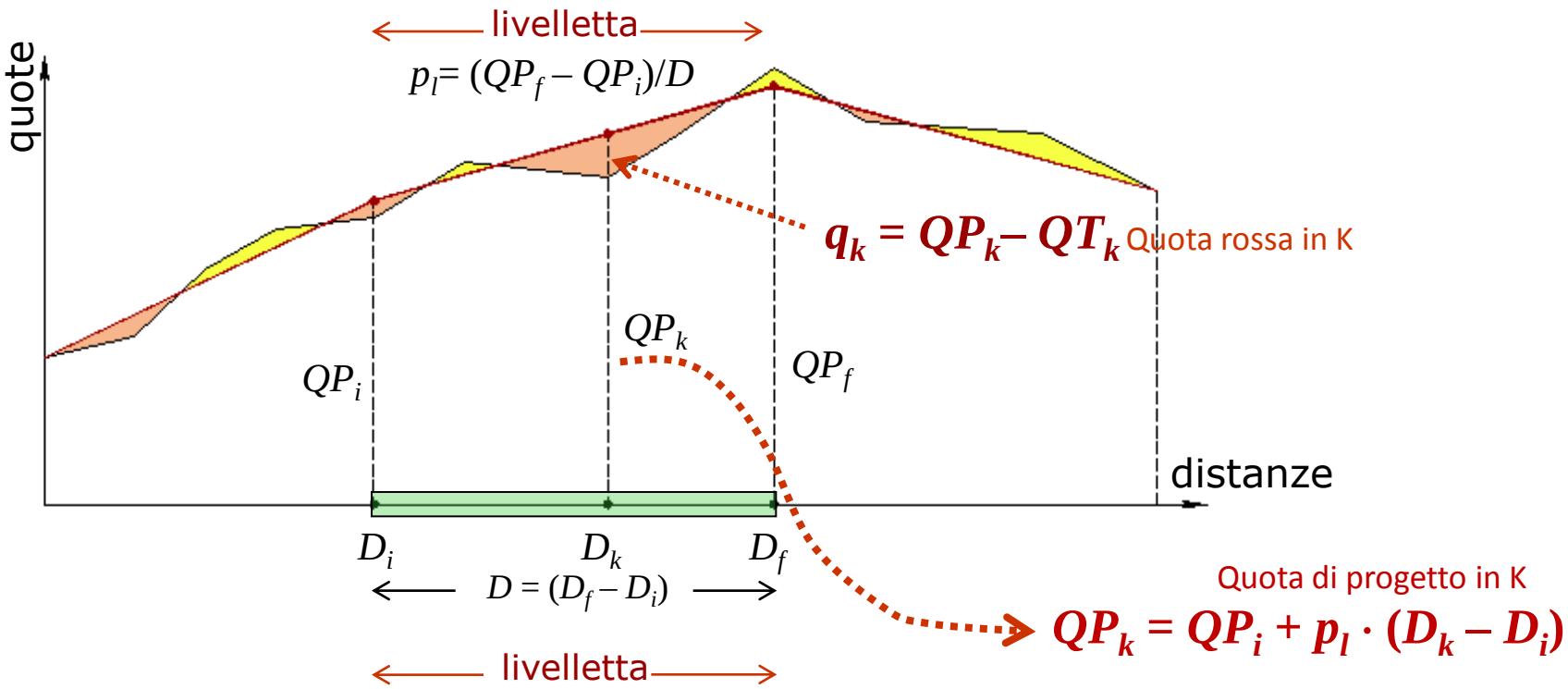
- **discostarsi** il meno possibile dal profilo terreno;
- creare aree di sterro **equivalenti** a quelle di riporto;
- cambiare possibilmente nei **punti di tangenza** delle curve;
- tornanti e gallerie dovrebbero avere **pendenza ridotta**;
- livellette consecutive non in **contropendenza**;
- livellette consecutive collegate da **raccordi verticali**.

NORME: la pendenza longitudinale di ogni livelletta non deve superare i seguenti valori **massimi** (p_{max}) in relazione ai tipi di strade:

tipo strada	ambito urbano	ambito extra
A	6%	5%
B	-	6%
C	-	7%
D	6%	-
E	8%	-
F	10%	10%

QUOTE DI PROGETTO e QUOTE ROSSE

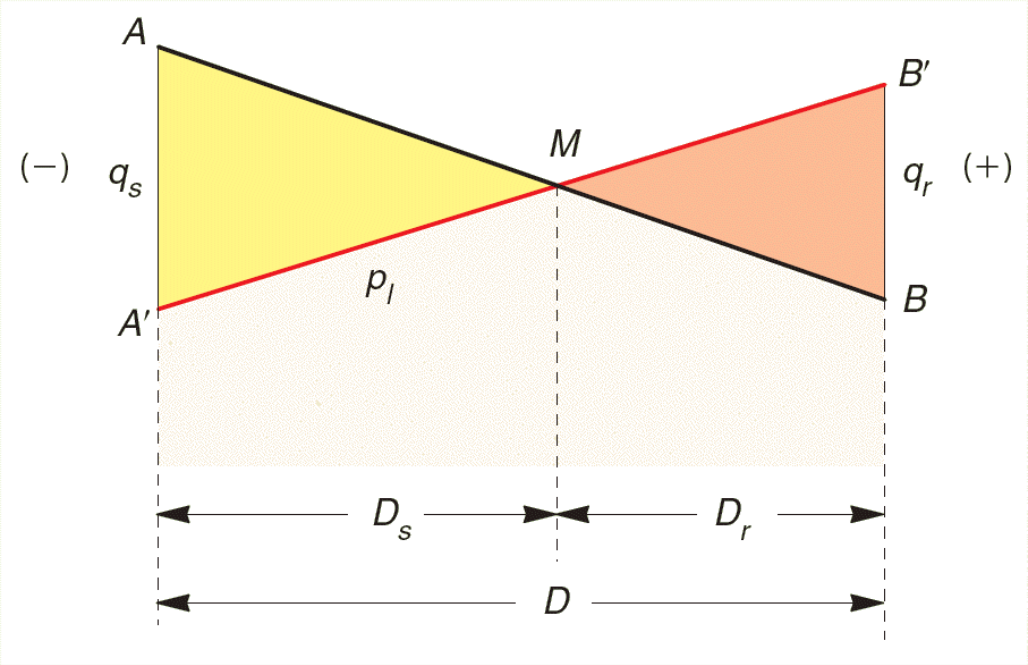
- La quota della piattaforma stradale in asse è detta **quota di progetto** (es. QP_{45} quota di progetto sezione 45).
- La differenza, in una stessa sezione, tra la quota di progetto e quella del terreno è detta **quota rossa**; essa può presentare segno **positivo** (sterro) o **negativo** (riporto): es. $q_{45} = QP_{45} - QT_{45}$



I PUNTI DI PASSAGGIO

- I **punti di passaggio** sono punti dell'asse stradale in cui si verifica l'**intersezione** tra il terreno e la piattaforma stradale. A essi corrisponde la **quota rossa nulla** (q=0).

- Per individuarli basta osservare le **coppie di sezioni** consecutive con quote rosse di **segno opposto**.



$$D_s : D_r = q_s : q_r$$

Da cui:

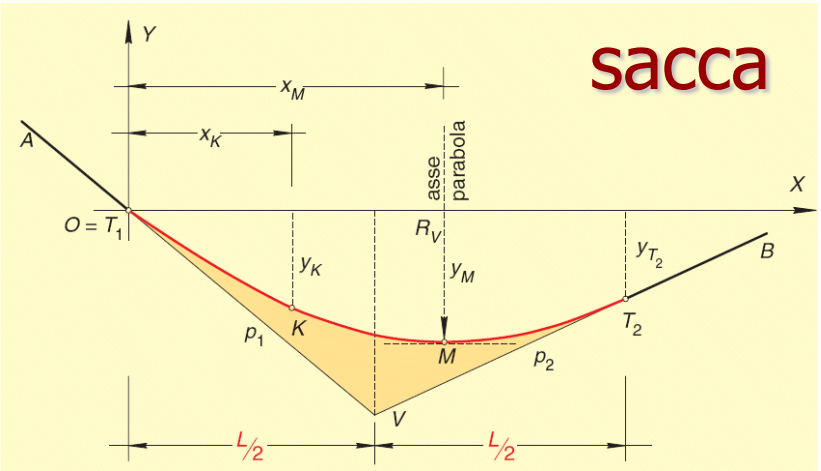
$$D_r = \frac{D}{q_s + q_r} \cdot q_r$$

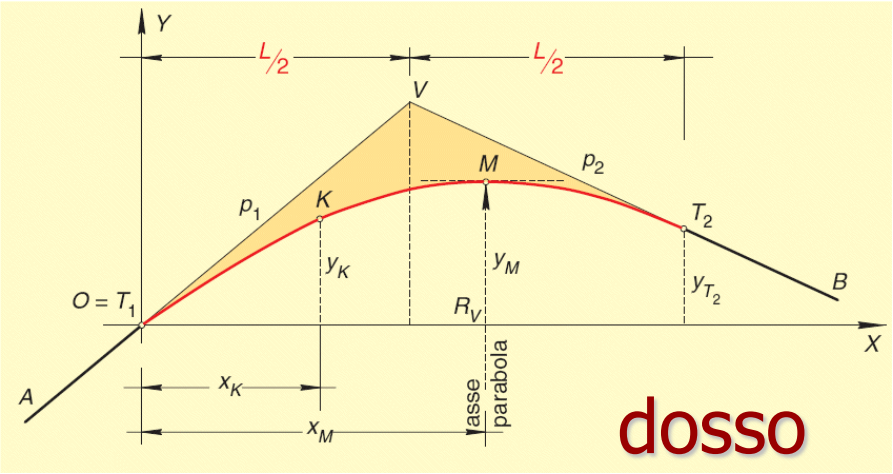
$$D_s = \frac{D}{q_s + q_r} \cdot q_s$$

$$QP_M = QT_M = QP_A + p_l \cdot D_s$$

IL RACCORDO VERTICALE PARABOLICO

- In una parabola ad asse verticale le **proiezioni orizzontali** delle due tangenti condotte da un punto V esterno sono uguali.
- Il *raggio di curvatura* della parabola in corrispondenza del suo asse (raggio del **cerchio osculatore**) è indicato con R_v. Esso ha sempre valori elevatissimi, tanto che è lecito approssimare lo **sviluppo del raccordo** con la sua proiezione orizzontale: Sviluppo = $T_1T_2 \cong L$.

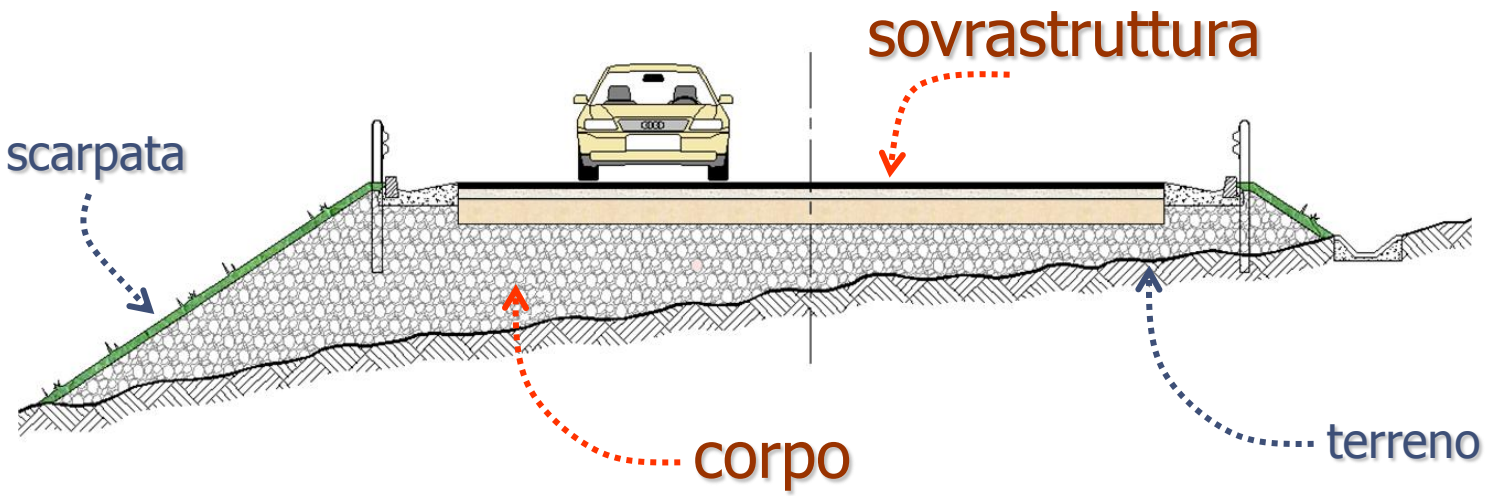




Il **valore minimo** del raggio R_v viene stabilito con riferimento alle **distanze di visibilità** da verificare, secondo le **norme**.

CORPO STRADALE E SEZIONI TRASVERSALI

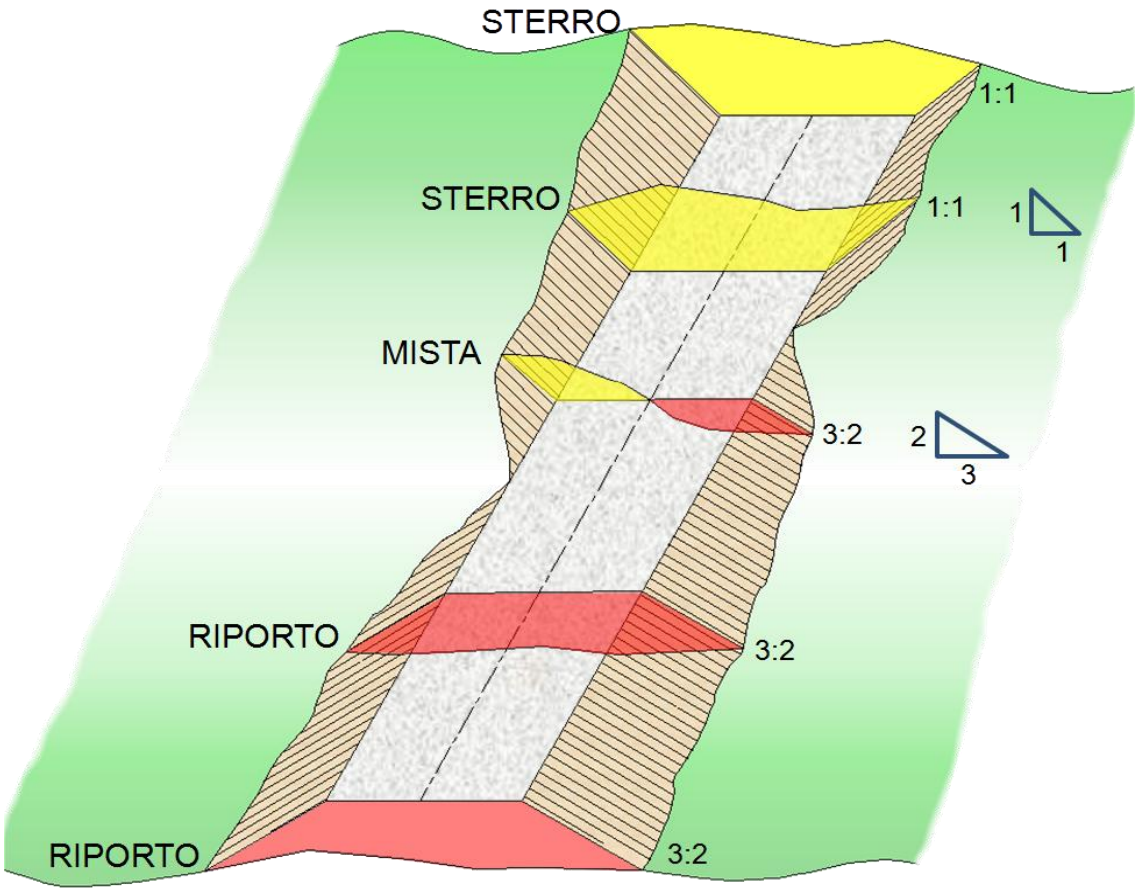
Il manufatto stradale comprende il **corpo stradale**, che si collega al terreno a mezzo di scarpate, e la **sovrastruttura** superiore.



- Il **corpo stradale** è realizzato con opere in terra (*rilevati*) o in calcestruzzo (*muri*, *viadotti*) necessarie a *sostenere* in modo stabile la **sovrastruttura**.
- La **sovrastruttura** ha la funzione di consentire lo svolgimento del **traffico** e quella di **trasmettere** il **carico** veicolare, **ripartendolo**, al sottostante corpo stradale (quindi al terreno).

TIPOLOGIE DI SEZIONE DEL CORPO STRADALE

La strada non si sviluppa necessariamente allo **stesso livello del terreno**. Allora, in relazione alla posizione relativa tra **piano di scorrimento** (piattaforma) e **piano di campagna**, si possono avere le seguenti tre tipologie di **corpo stradale**:



LE SEZIONI TRASVERSALI

- Rappresentano l'**intersezione** del **corpo** stradale e del **terreno** con un **piano verticale** e **normale** all'asse stradale.

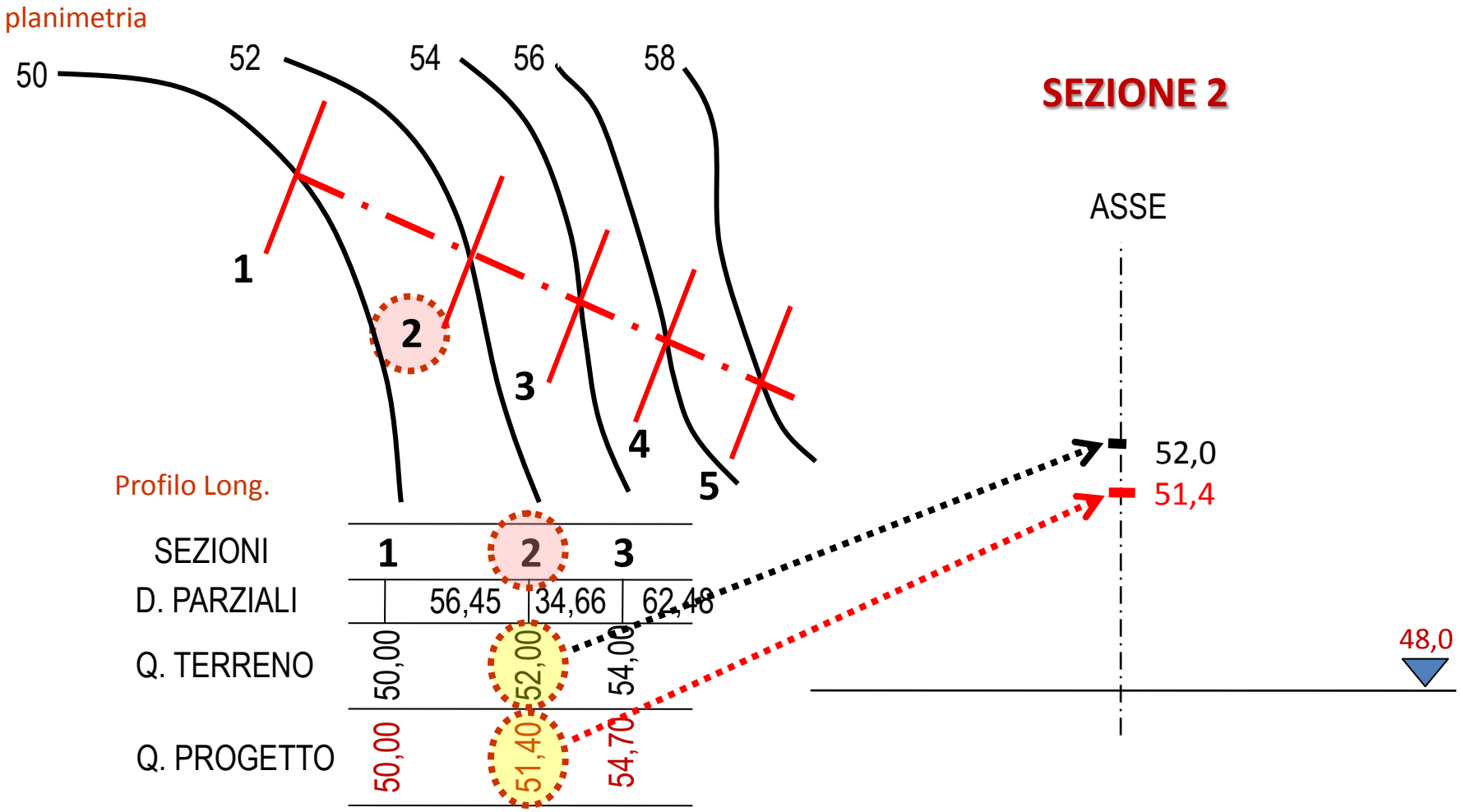
- Evidenziano l'**andamento trasversale** all'asse del **corpo** stradale e del **terreno.**

Forniscono gli elementi necessari per il calcolo sia dell'area di occupazione sia dei volumi e dei conseguenti movimenti delle masse (sterri e riporti) .

CONVENZIONE: si rappresentano come appaiono a un osservatore che percorre la strada, a ritroso **rivolto verso l'origine** (primo estremo).

ESEMPIO: formazione della sezione **2:** 1ª fase

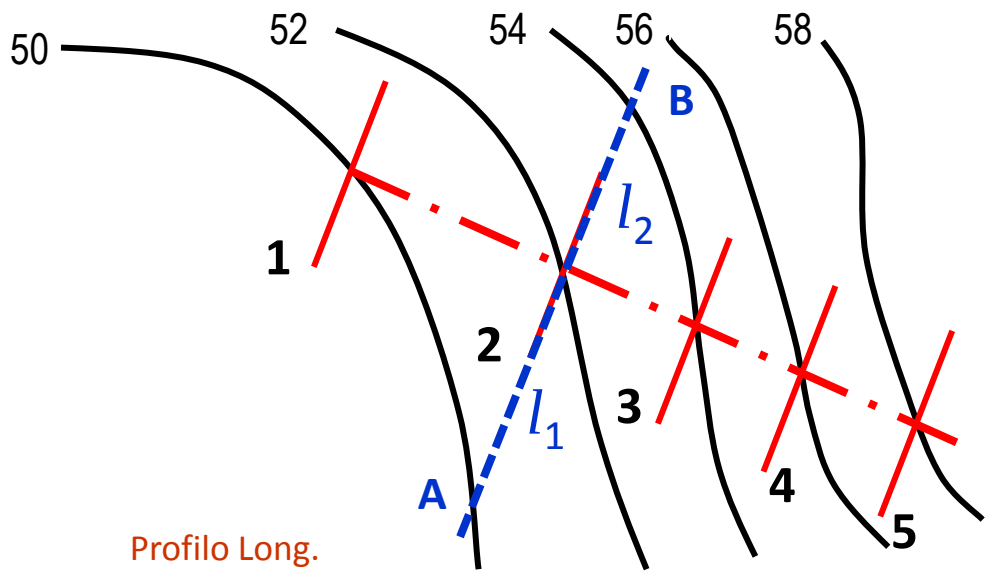
Preliminarmente si traccia l'**asse della sezione** e, dopo aver fissato un piano di riferimento, **si riportano le quote del terreno e di progetto** della sezione in corrispondenza del dell'asse stradale (prelevandole dal profilo longitudinale).



formazione della sezione **2:** 2ª fase

Nell'ambito del progetto **preliminare** le posizioni delle **intersezioni** A e B (a sinistra e a destra dell'asse di 2 nel piano di sezione) con le curve di livello in cui è compresa, vengono **rilevate graficamente** a mezzo delle distanze l_1 e l_2.

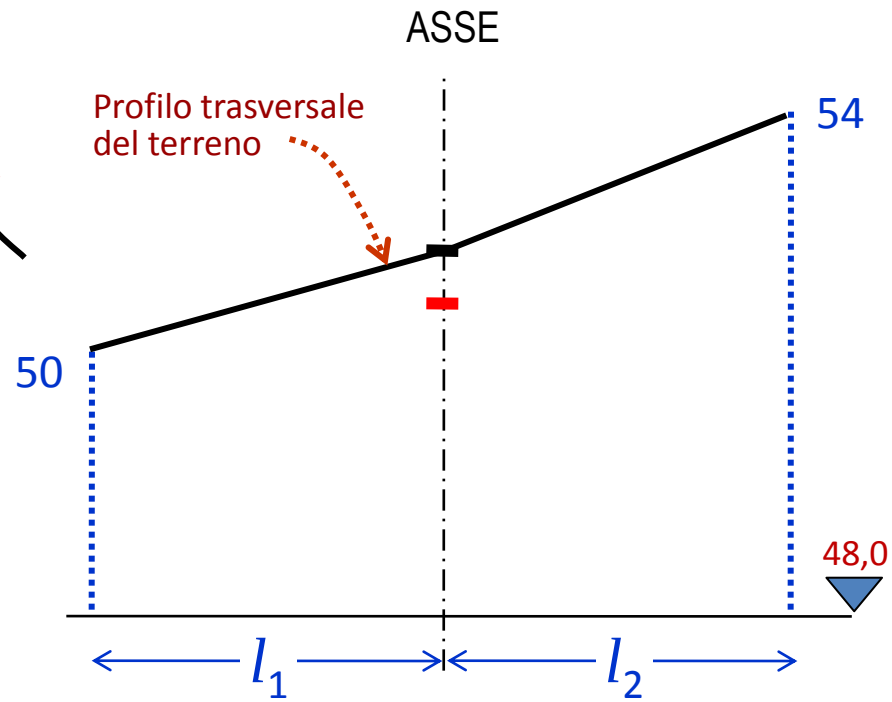
planimetria



Profilo Long.

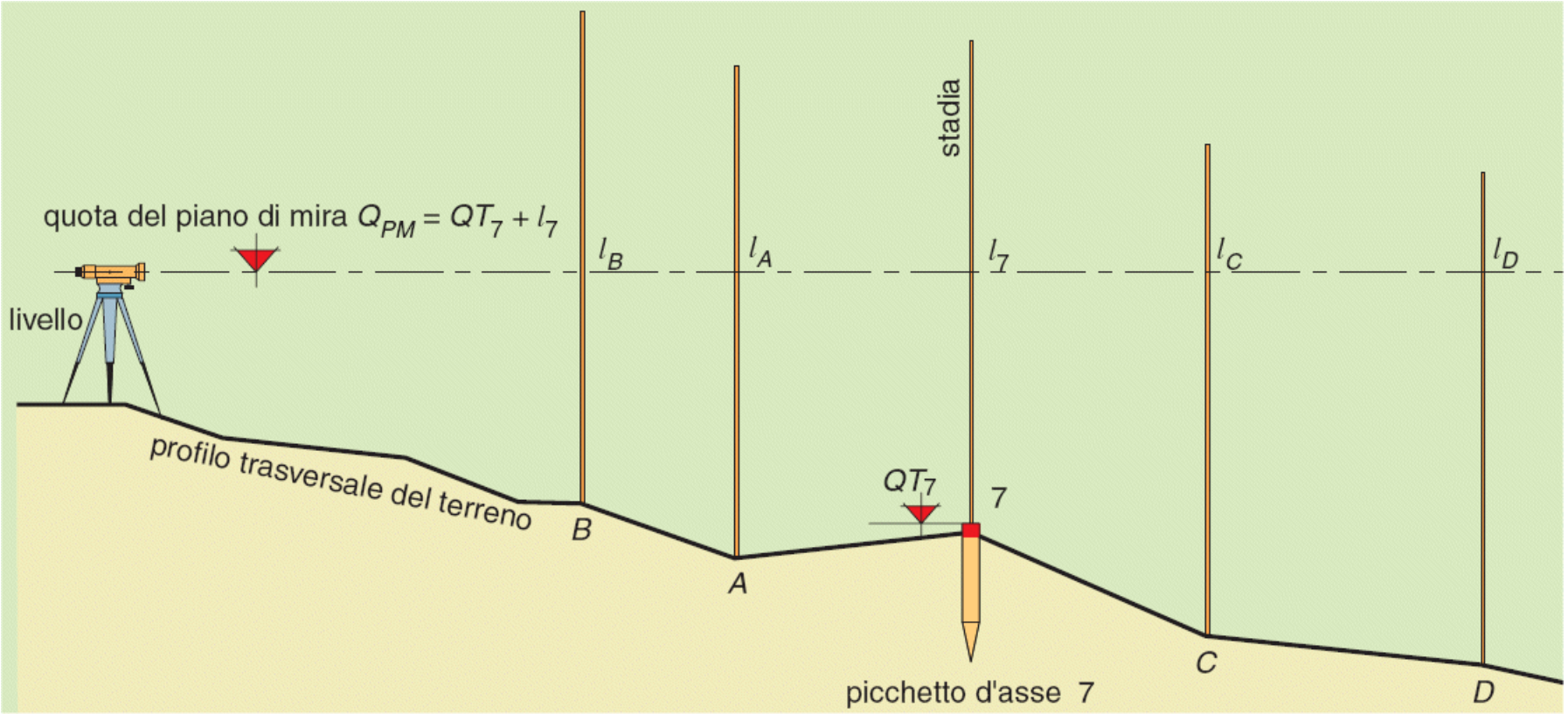
SEZIONI	1	2	3
D. PARZIALI		56,45	34,66	62,48
Q. TERRENO	50,00	52,00	54,00
Q. PROGETTO	50,00	51,40	54,70

SEZIONE 2

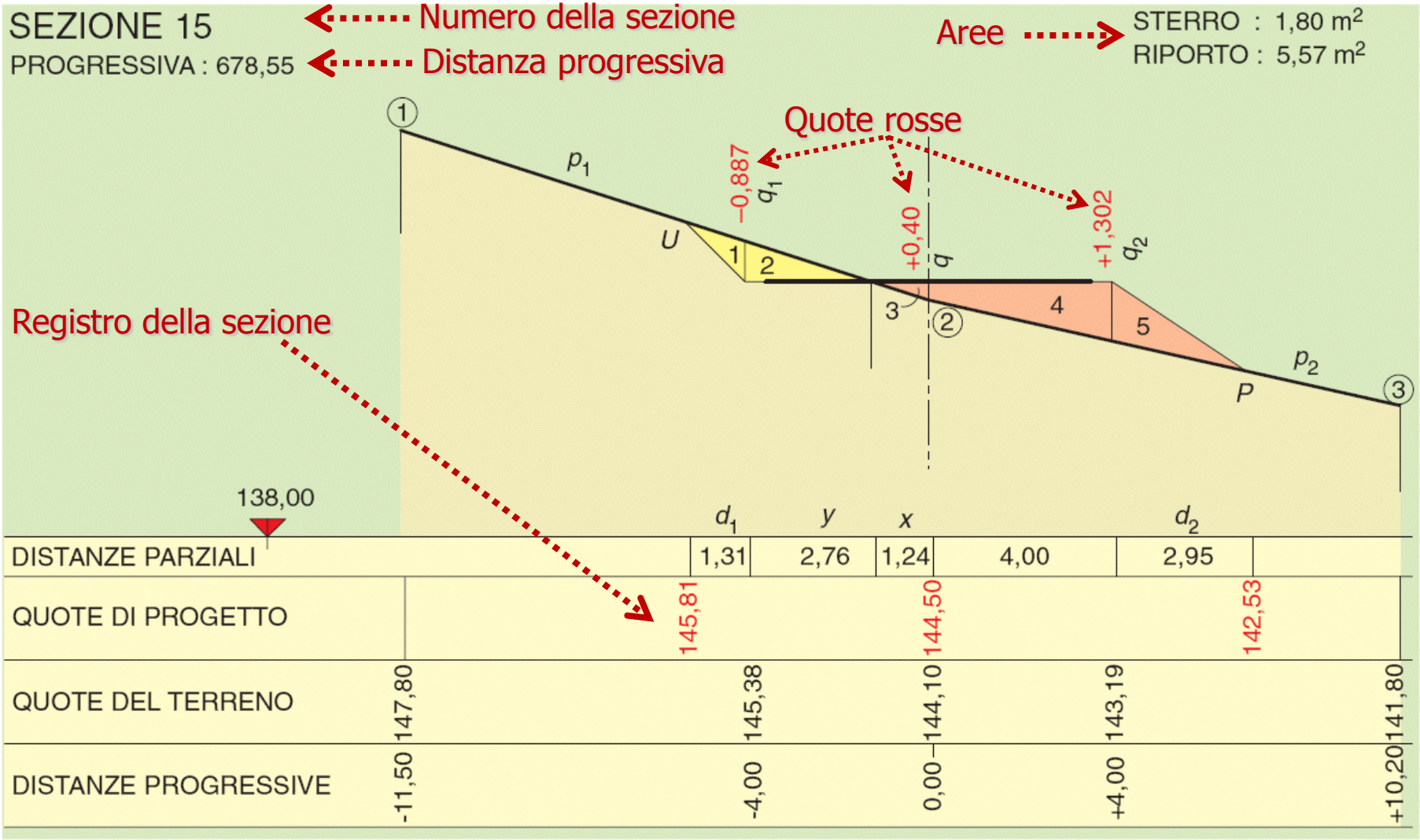


FORMAZIONE DELLA SEZIONE: variante 2ª fase

Nella fase del <u>progetto</u> **<u>esecutivo</u>** l'andamento trasversale del terreno viene rilevato direttamente. Le distanze possono essere misurate con distanziometro o con la **corda metrica**, mentre i dislivelli sono misurati con il **livello** (o stazione topografica se il terreno è molto accidentato). Può risultare utile l'impiego di ricevitori satellitari GNSS in modalità RTK.



LA QUOTATURA DELLA SEZIONE



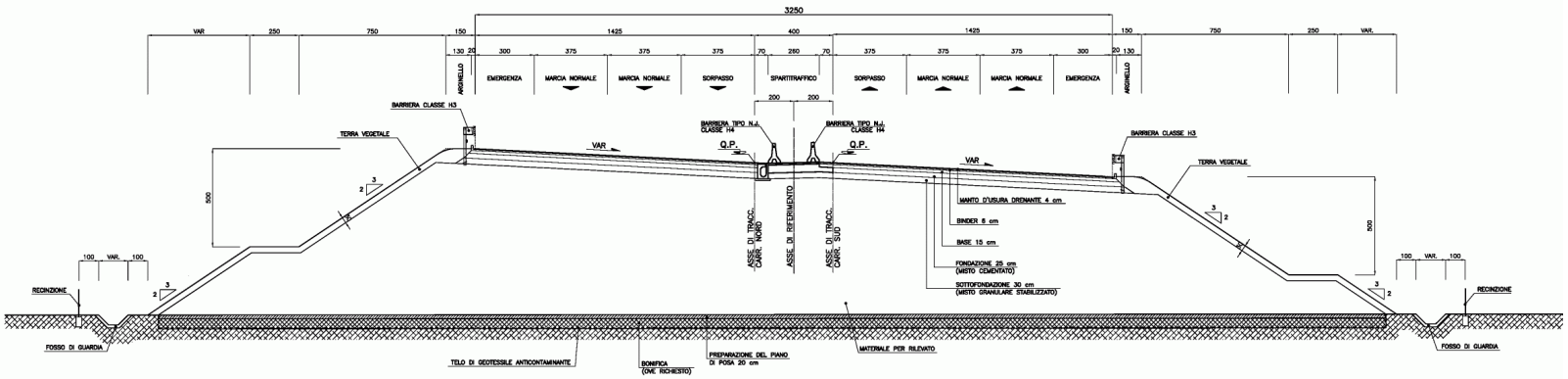
SEZIONI TIPO

Le **sezioni trasversali** sono **numerose** e sono rappresentate in una **scala** (1:100; 1:200) che **non consente** la definizione dei particolari e la loro quotatura, dunque **non sufficienti** a definire con precisione il manufatto stradale.

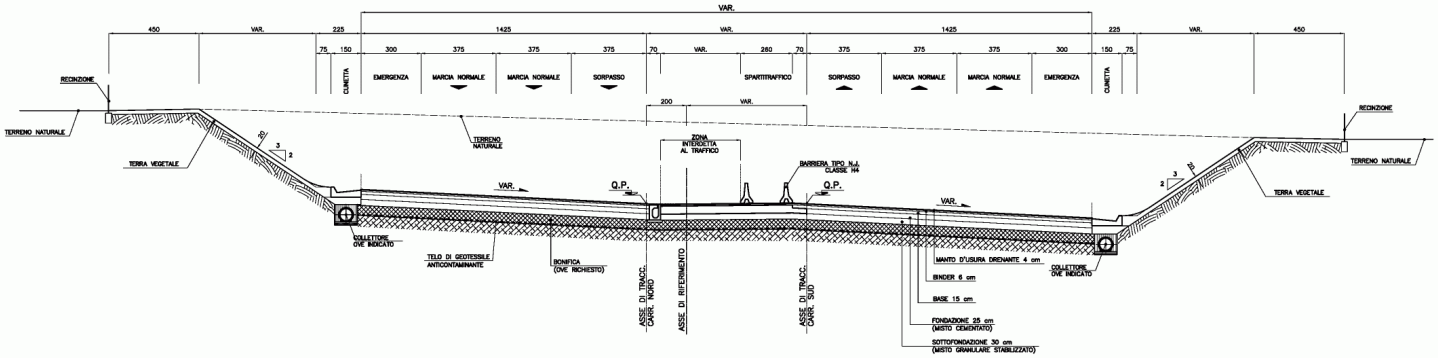
- Per poter osservare le caratteristiche costruttive del corpo stradale si disegnano con una **scala maggiore** sia le **sezioni tipo** (es. 1:50), sia i **particolari costruttivi** (es. 1:20).
- Le sezioni tipo vengono realizzate per ogni **ambito** in cui si sviluppa il corpo stradale: in **rettifilo**, in **curva**, in **rilevato**, in **trincea**, in **galleria** ecc.).

Esempio: SEZIONI TIPO IN CURVA

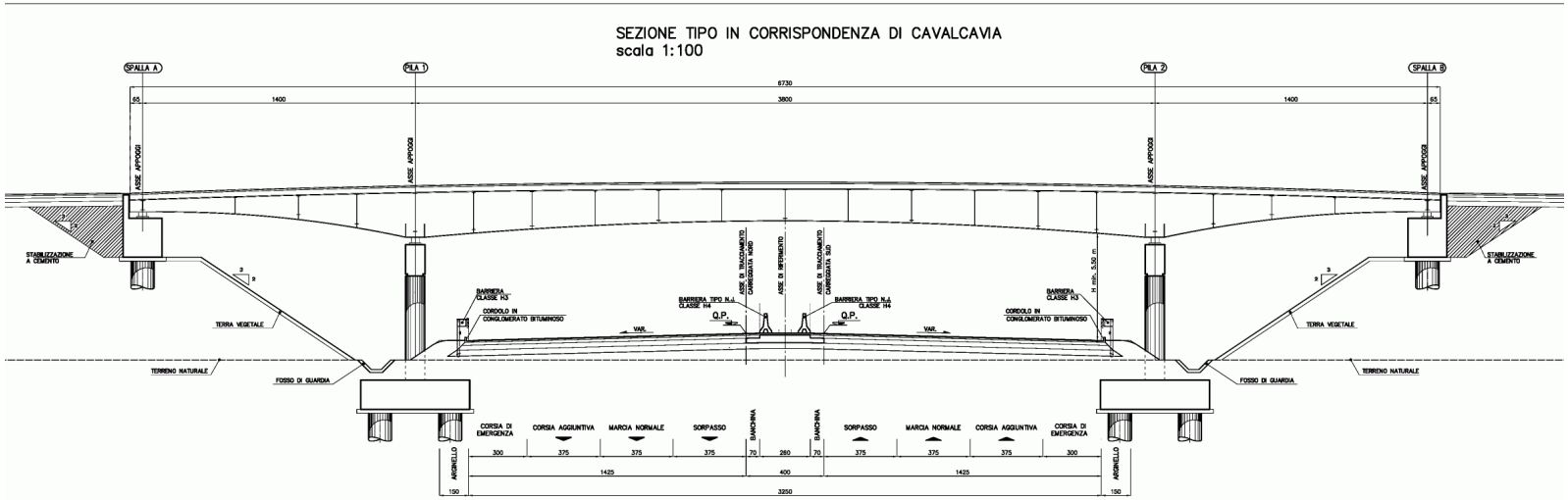
SEZIONE TIPO IN RILEVATO – IN CURVA CON R>2000m scala 1:100

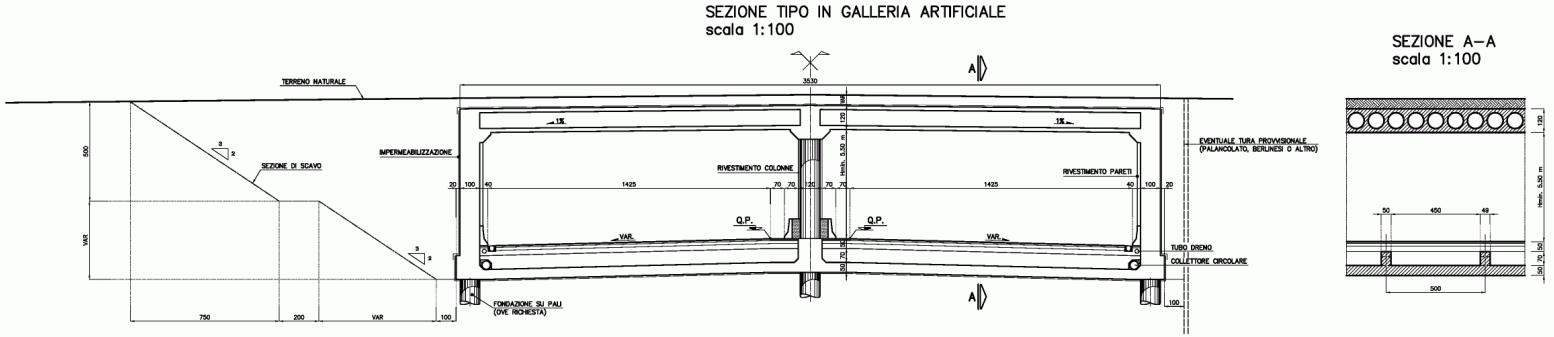


SEZIONE TIPO IN SCAVO – IN CURVA CON R<2000m scala 1:100

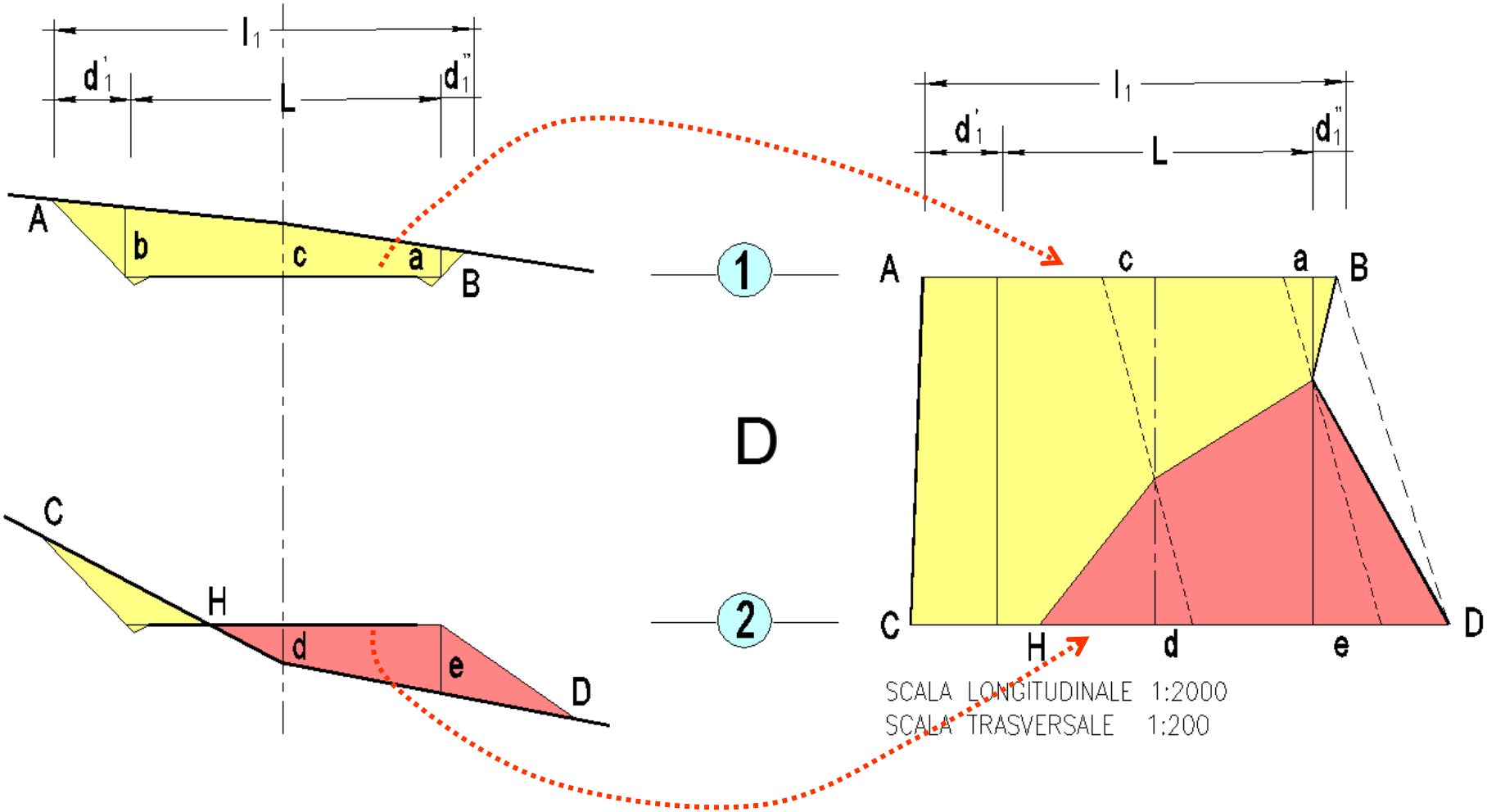


Esempio: SEZIONI TIPO (CALVACAVIA E GALLERIA ART.)

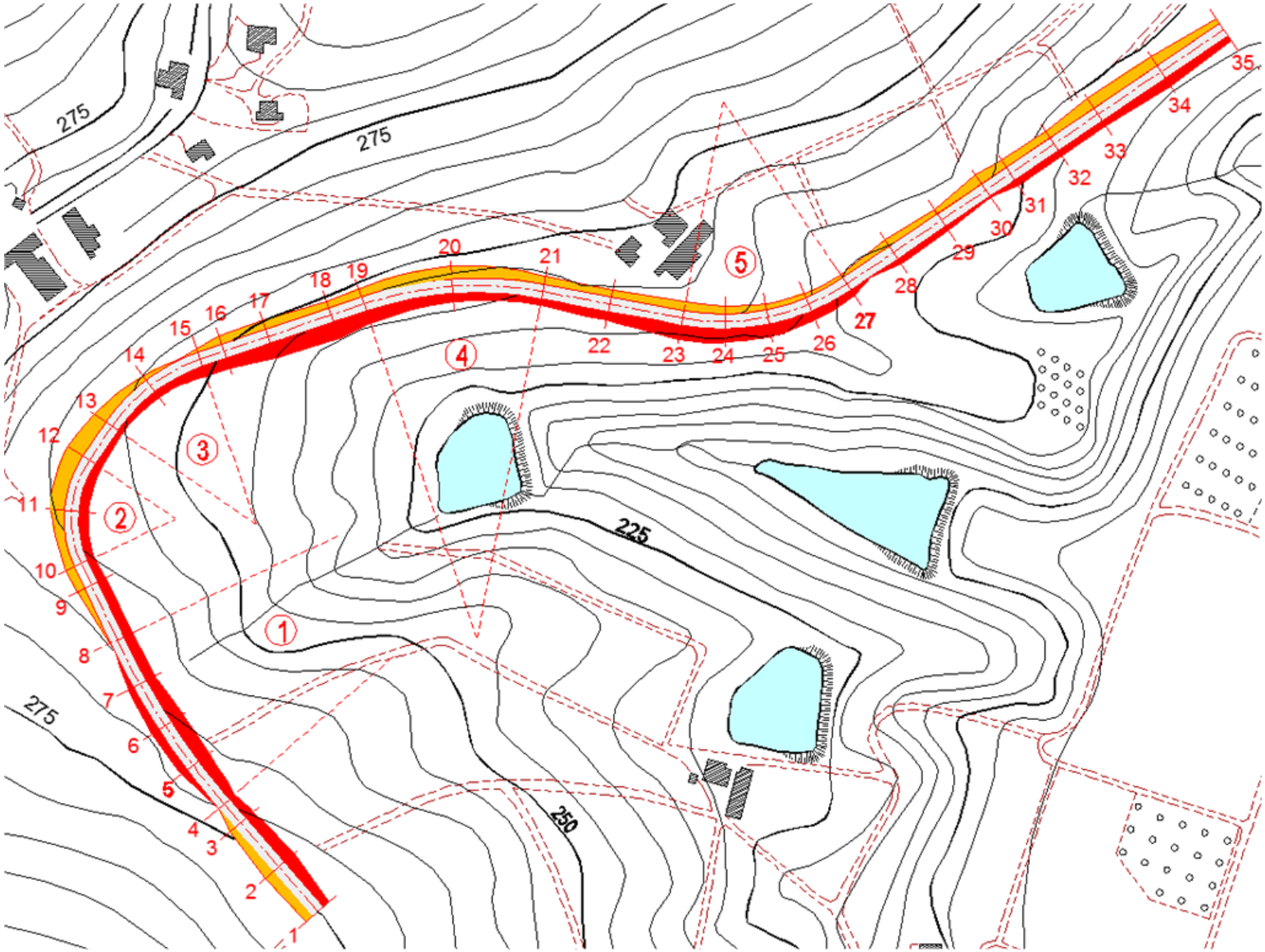




Assemblaggio delle sezioni trasversali



PLANIMETRIA DI OCCUPAZIONE



VALUTAZIONI GEOMETRICHE DEL CORPO STRADALE

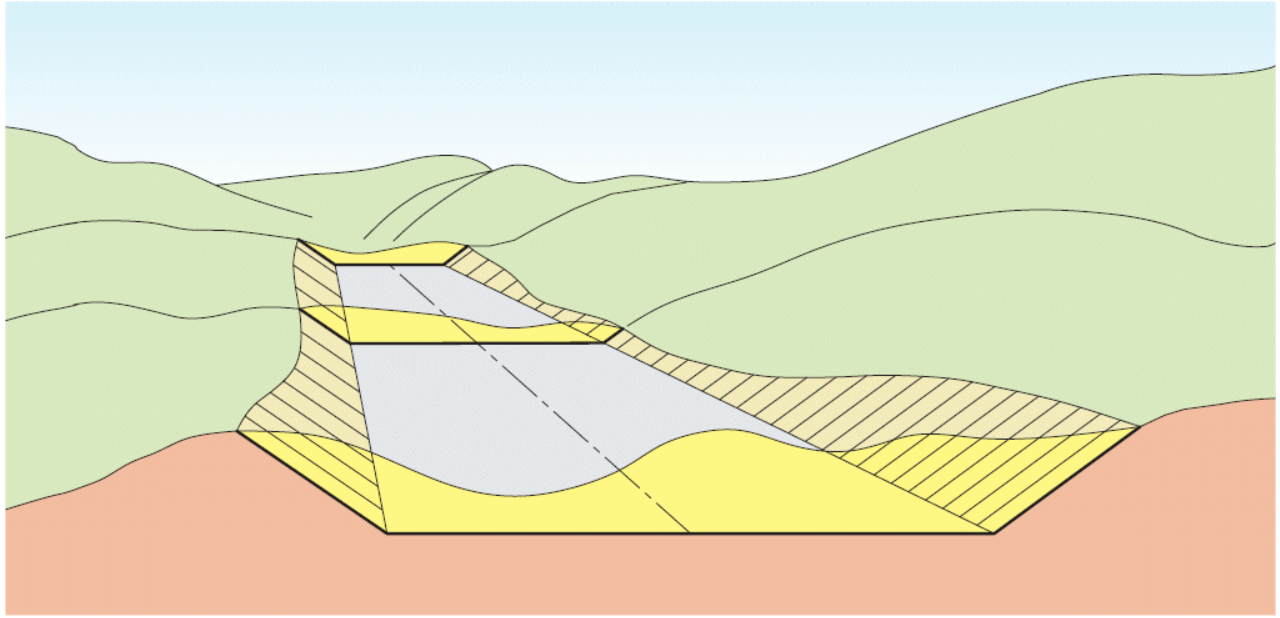
La realizzazione del **corpo stradale** è resa possibile dai **movimenti di terra**, cioè di quell'insieme di operazioni di cantiere con le quali, attraverso lo **scavo** e il **trasporto** dei materiali terrosi, si vengono a formare i rilevati e le trincee che consentono di portare la piattaforma stradale alle quote prestabilite in sede di progetto.

- **MASSE DI STERRO**
- **MASSE DI COMPENSO**
- **MASSE DI RIPORTO**
- **MASSE DI RIFIUTO/PRESTITO**

→ **PALEGGI**

→ **COMPENSI LONG.**

→ **CAVE**

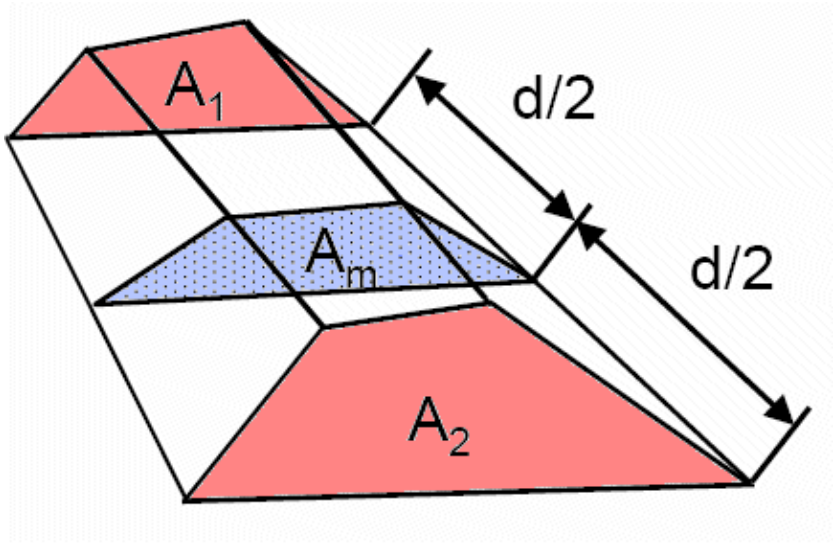


Per pianificare le operazioni di movimento delle terre è necessario conoscere i **volumi** delle masse e la loro distribuzione lungo l'asse stradale.

VOLUME DEL SOLIDO STRADALE

(in rettifilo e fra due sezioni omogenee)

A_m: **sezione mediana** equidistante tra A_1 e A_2.



Errori indicativi prodotti dalla regola delle sezioni ragguagliate:

- +2% se tra $A_1 = 2A_2$
- +10% se tra $A_1 = 5A_2$
- +20% se A_1 o $A_2 = 0$

FORMULA DI TORRICELLI
(formula esatta)

$$V = \frac{d}{6} \cdot (A_1 + A_2 + 4A_m)$$

ponendo: $$A_m = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

REGOLA DELLE
SEZIONI RAGGUAGLIATE
(approssimata)

$$V = \frac{A_1 + A_2}{2} \cdot d$$

VOLUME DEL SOLIDO STRADALE
(sezioni disomogenee in rettifilo)

In questo caso il solido è caratterizzato da **due masse cuneiformi**: una di **sterro**, l'altra di **riporto**, separate da una **linea di passaggio** (ideale e approssimata).

1 - POSIZIONE DELLA LINEA DI PASSAGGIO

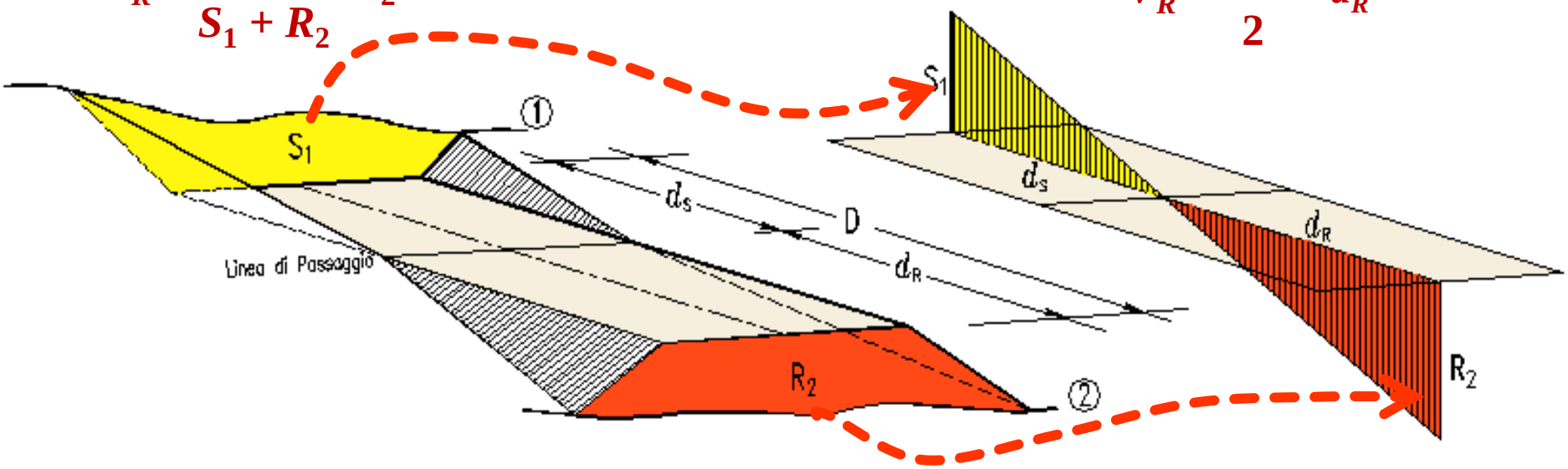
$$d_S = \frac{D}{S_1 + R_2} \cdot S_1$$

$$d_R = \frac{D}{S_1 + R_2} \cdot R_2$$

2 - CALCOLO DEI VOLUMI

$$V_S = \frac{S_1}{2} \cdot d_S$$

$$V_R = \frac{R_2}{2} \cdot d_R$$



VOLUME DEL SOLIDO STRADALE
(con una sezione mista in rettifilo)

Il solido stradale viene scomposto in **due tronchi**, uno omogeneo e uno disomogen.

1° TRONCO

$$d_S = \frac{D}{S'_1 + R_2} \cdot S'_1 \qquad d_R = \frac{D}{S'_1 + R_2} \cdot R_2$$

$$V'_S = \frac{S'_1}{2} \cdot d_S \qquad V'_R = \frac{R_2}{2} \cdot d_R$$

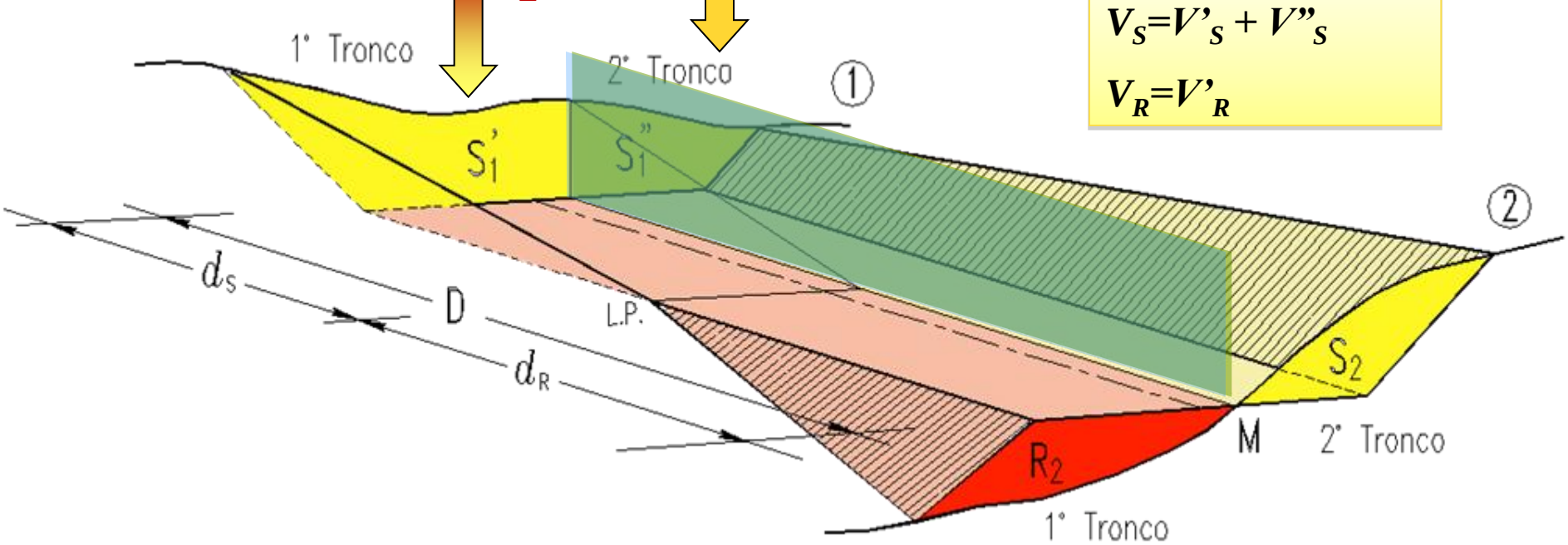
2° TRONCO

$$V''_S = \frac{S''_1 + S_2}{2} \cdot D$$

RICOMPOSIZIONE TRONCHI

$$V_S = V'_S + V''_S$$

$$V_R = V'_R$$



VOLUME DEL SOLIDO STRADALE
(due sezioni miste in rettifilo)

1° TRONCO

$$V'_R = \frac{R_1 + R'_2}{2} \cdot D$$

2° TRONCO

$$d_S = \frac{D}{S'_1 + R''_2} \cdot S'_1 \qquad d_R = \frac{D}{S'_1 + R''_2} \cdot R_2$$

$$V''_S = \frac{S'_1}{2} \cdot d_S \qquad V''_R = \frac{R''_2}{2} \cdot d_R$$

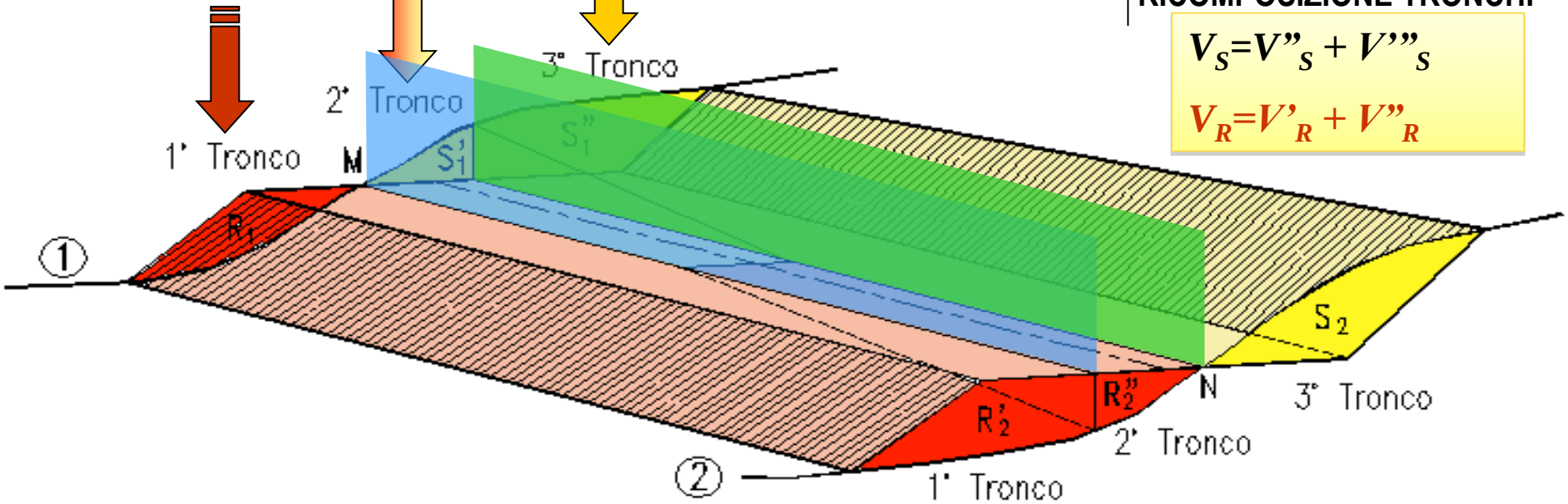
3° TRONCO

$$V'''_S = \frac{S''_1 + S_2}{2} \cdot D$$

RICOMPOSIZIONE TRONCHI

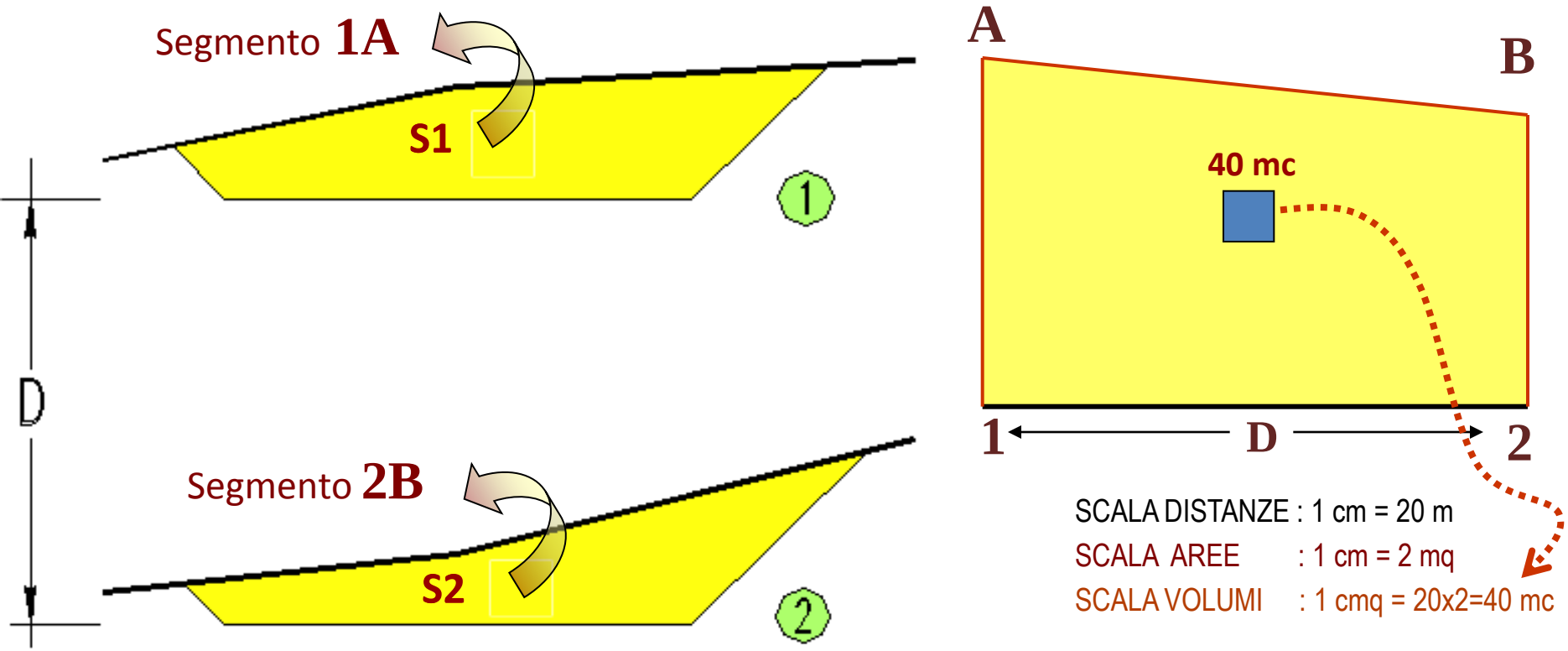
$$V_S = V''_S + V'''_S$$

$$V_R = V'_R + V''_R$$

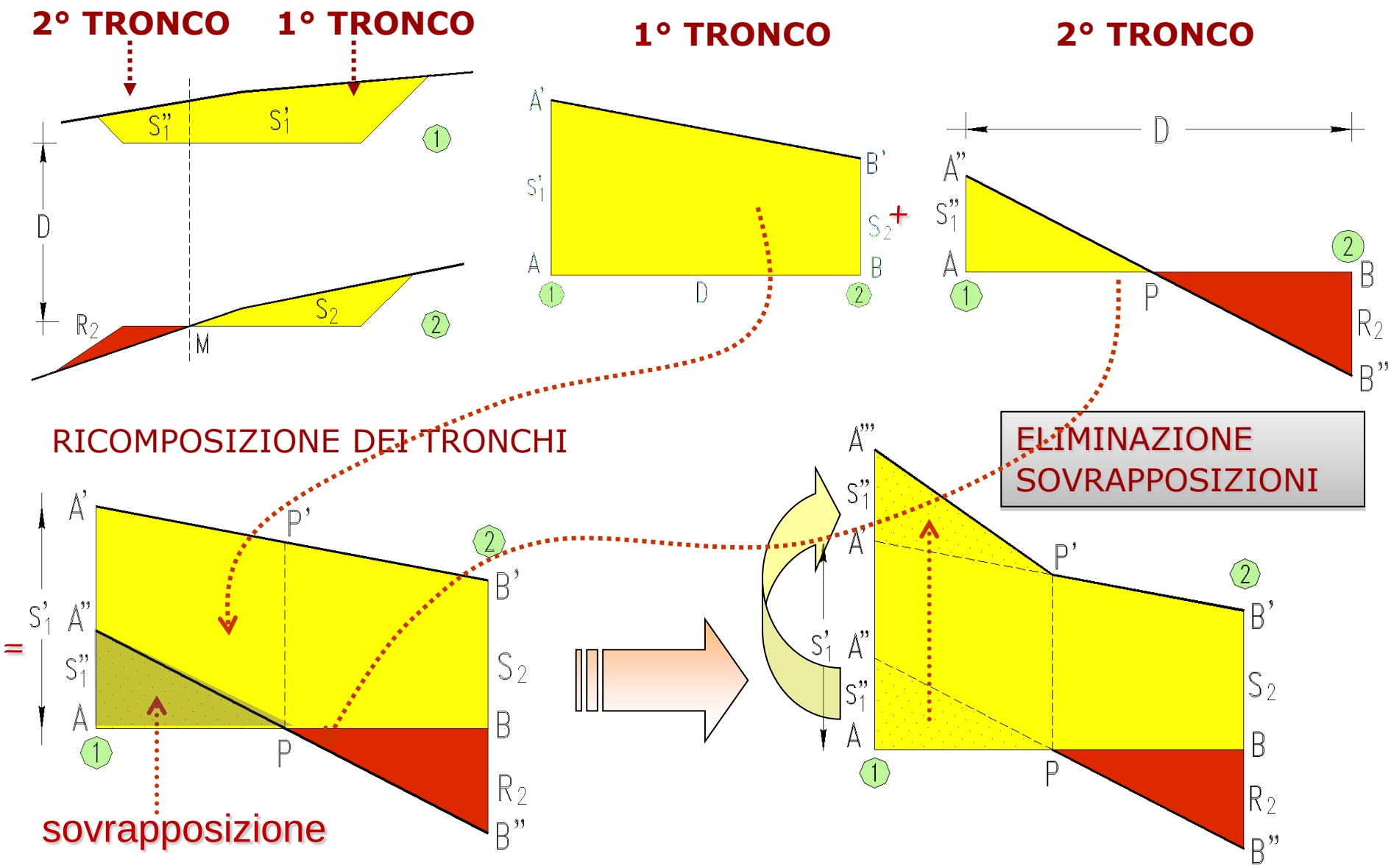


RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DEI VOLUMI
(sezioni omogenee)

- L'**area** racchiusa dal diagramma così ottenuto, letta in **opportuna scala**, rappresenta il **volume** del solido stradale compreso tra le due sezioni.

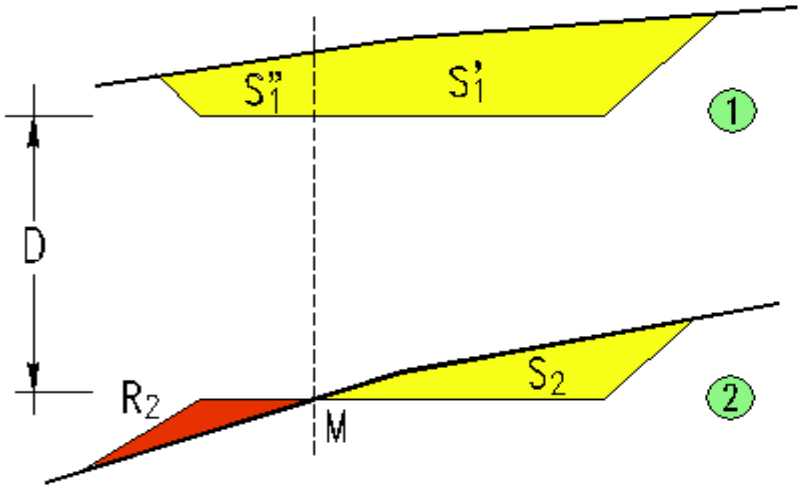


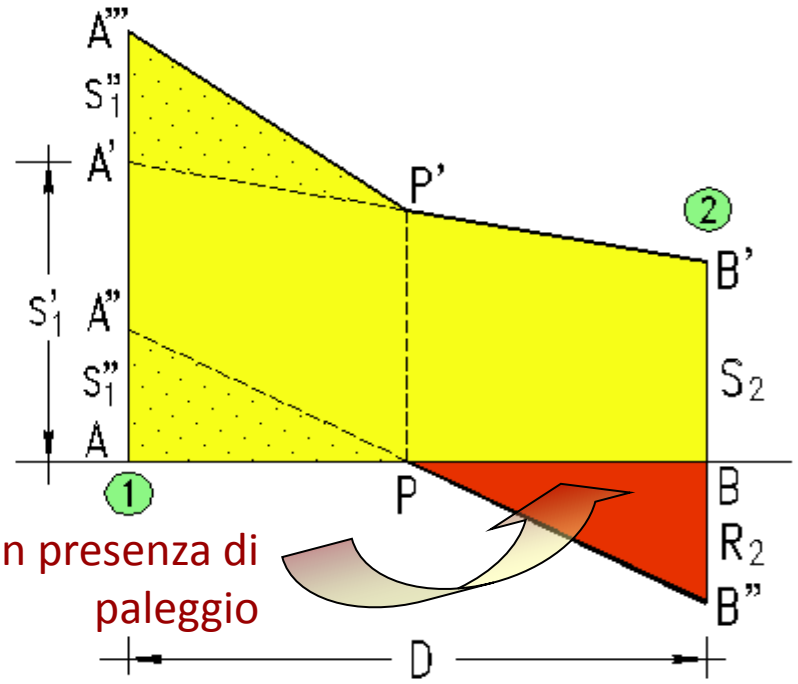
RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DEI VOLUMI
(con una sezione mista)



IL PALEGGIO TRASVERSALE

- In un tratto del solido stradale la presenza di **sezioni miste** dà luogo alla presenza di **paleggi** (compensi con movimento trasversale).
- Nella rappresentazione grafica dei volumi la presenza di paleggio è testimoniata dalla presenza **simultanea** di aree di **sterro** (sopra asse x) e di **riporto** (sotto asse x).



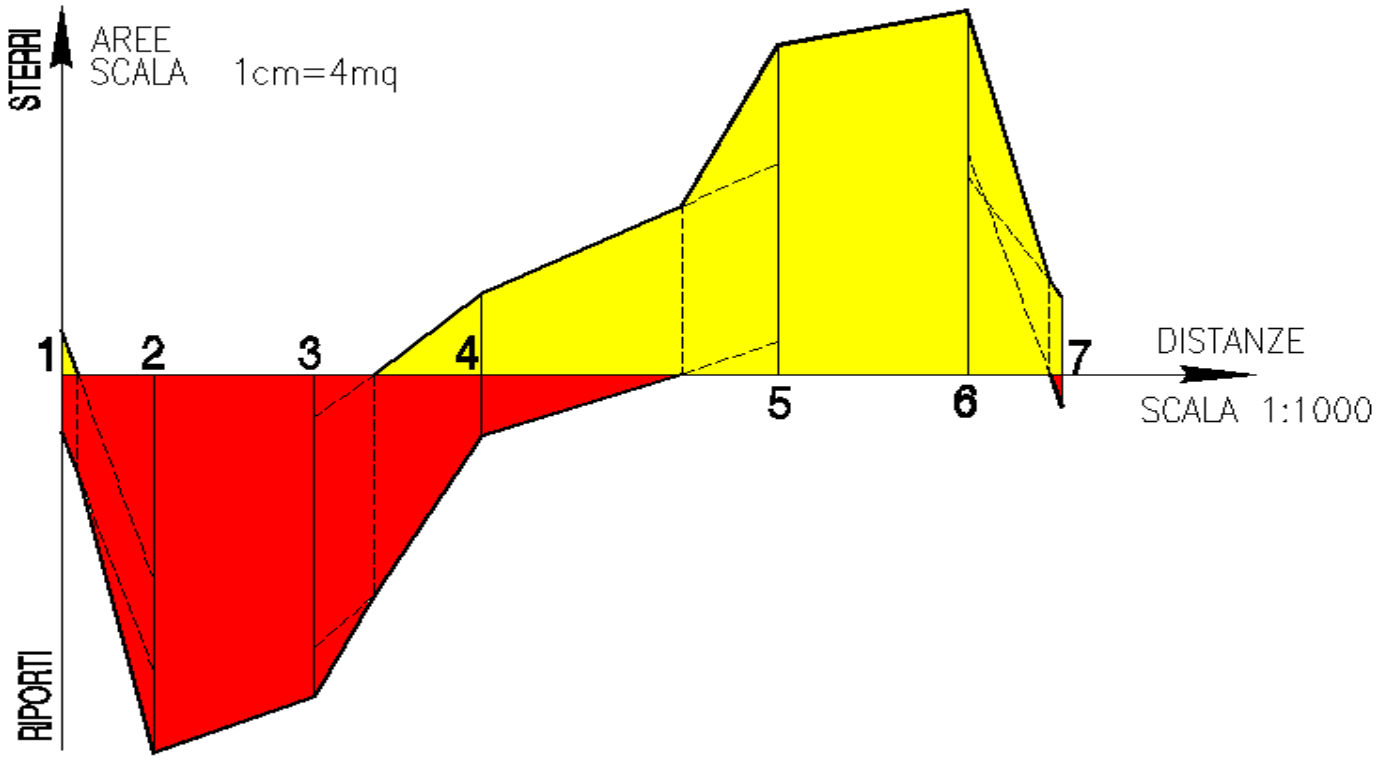


Tratto PB con presenza di paleggio

IL DIAGRAMMA DELLE AREE
(o delle masse)

Estendendo la rappresentazione grafica dei volumi a un intero tratto stradale si ottiene un grafico denominato "**diagramma delle aree depurato**".

Dunque si tratta di un diagramma che riporta in ascisse **le sezioni** alle relative **distanze**, e in ordinate le **aree** delle corrispondenti sezioni (utilizzando un'opportuna scala convenzionale es. 1 cm = 3 mq), <u>considerando positive le aree di sterro, negative quelle di riporto</u>.



CONSIDERAZIONE FINALE SULLA MISURA DEI VOLUMI

In generale, l'incidenza dei movimenti terra nell'importo totale dell'opera è minore dell'incidenza dei manufatti, delle opere di sostegno, delle pavimentazioni e complementari. L'impiego della regola approssimata delle Sezioni Ragguagliate è, pertanto, consentita.

VISIONE GEOMETRICA GLOBALE DELLA VIA

Ai diversi livelli di progettazione si producono:

- Planimetria
- Profili altimetrici
- Sezioni trasversali
- Computi dei volumi

Nella fase esecutiva si riporta il tracciato sul terreno picchettando i vertici della poligonale d'asse, si rileva il vero profilo longitudinale (nero) e tutte le vere sezioni trasversali (nere)

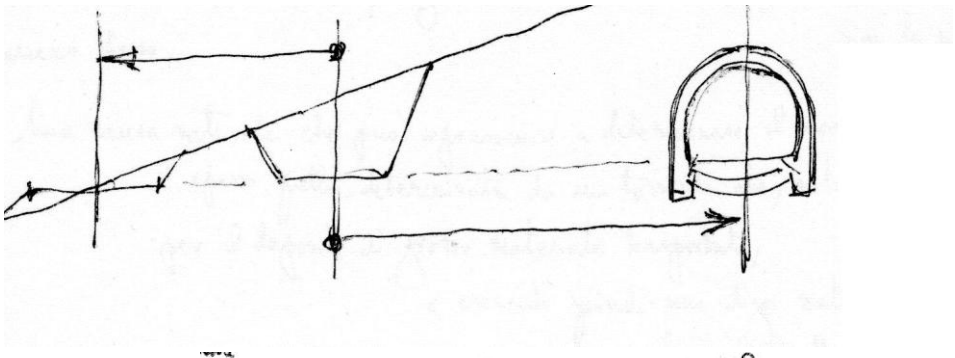
Brutti e inopinati incontri …

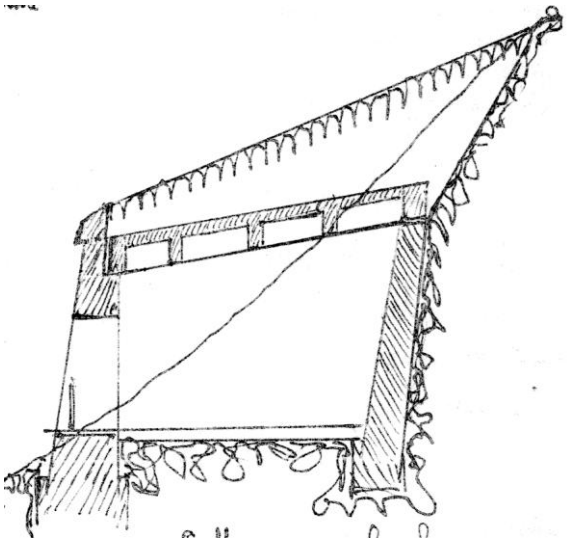
Frane, caduta massi, valanghe, azione torrentizia selvaggia, depositi morenici, ambienti gessiferi, torbosi, paludosi, acquiferi, carsismo e via dicendo …

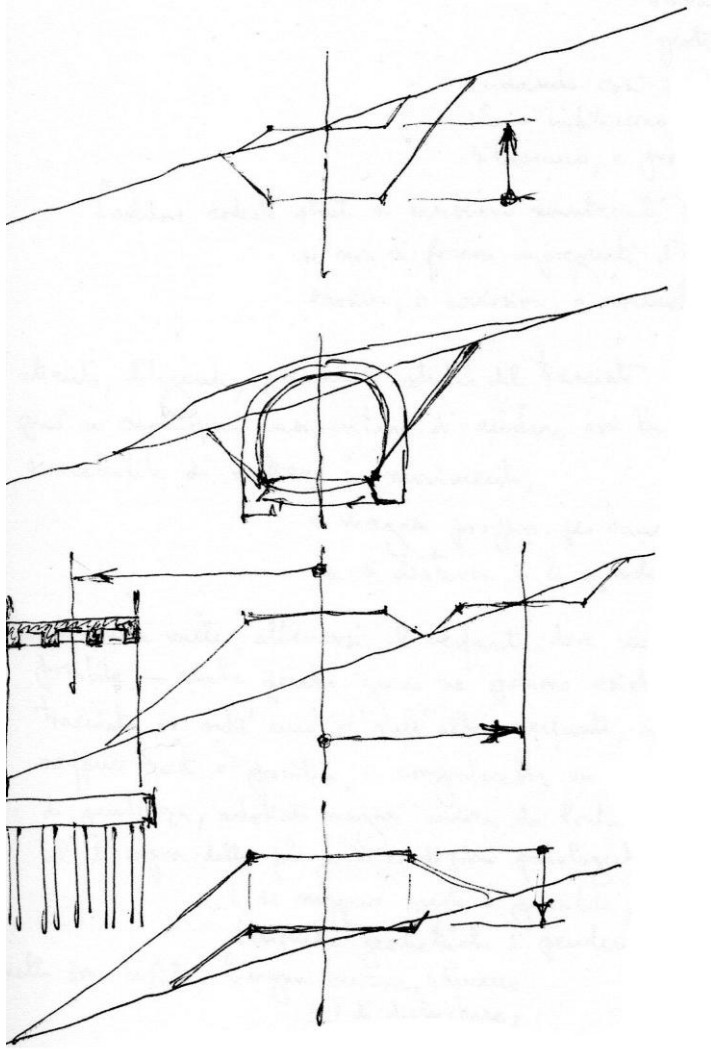
CHE FARE?

Opere di difesa e salvaguardia oppure, senza ostinarsi in soluzioni che turberebbero il terreno, modificare la geometria del tracciato sempre che l’andamento planimetrico lo consenta.

… alcuni accorgimenti di modifica geometrica del tracciato







Dettaglio l'OPERA VIARIA E LE FRANE

Premesso che le frane è meglio evitarle, la difesa dell'infrastruttura nei riguardi delle frane prevede essenzialmente opere di:

- Bonifica, risanamento e consolidamento del terreno a monte e a valle di essa;
- Regolazione delle acque e opere di smaltimento;
- Protezione della sede e dei veicoli;
- Contenimento dei movimenti del terreno

TUTTO QUESTO, PERO', E' UN'ALTRA STORIA

GRAZIE PER L' ATTENZIONE