

Esempio di progetto geometrico

Pagina 29 del testo

A.1 Progetto di un tratto stradale

In questa sezione sono descritti i passi successivi del processo di progettazione di un tracciato stradale, seguendo l'approccio semplificato di stampo tradizionale. Tale metodologia, ancorché attualmente superata, offre una rappresentazione di base delle varie fasi progettuali, analizzando la struttura e la tipologia degli elaborati da produrre.

Si suppone di dover progettare una strada extraurbana secondaria di Categoria C, a unica carreggiata e doppio senso di marcia, avente intervallo di velocità di progetto 60-100 km/h.

Andamento planimetrico

Step 1. Costruzione del tracciolino

L'andamento planimetrico della strada viene progettato facendo riferimento a una planimetria in scala 1 : 2000; su tale planimetria sono tracciate le isoipse, o curve di livello, caratterizzate da una quota costante e riferita al livello del mare. Il primo passo prevede l'individuazione del cosiddetto tracciolino, costituito da una poligonale a pendenza costante, che collega le due estremità del tracciato.

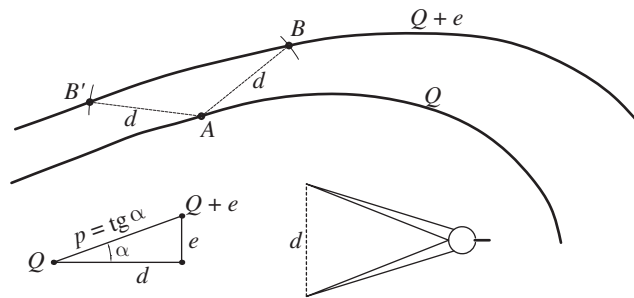
Noto il dislivello che separa i punti estremi da collegare, si può calcolare una pendenza media di riferimento. Per la costruzione del tracciolino è conveniente assumere una pendenza (p) leggermente inferiore sia alla pendenza media calcolata sia al limite previsto dalle norme per il tipo di strada in progetto.

Considerando due curve di livello con equidistanza (e), per passare da una curva di livello a una successiva con la pendenza (p) stabilita è necessario tracciare un segmento, tra due isoipse successive, di lunghezza (d) pari a (Fig. A.1):

$$d = \frac{e}{p} \quad (\text{A.1})$$

Ai fini della rappresentazione grafica, puntando il compasso in A (curva di livello Q), con apertura pari a d (nella scala di rappresentazione della cartografia), si individuano i punti B o B' (curva di livello $Q + e$) come intersezione dell'arco di raggio d con la curva di livello adiacente (Fig. A.1). Procedendo allo stesso modo si passa da una curva di livello a quella successiva sino a raggiungere il punto di destinazione fissato (Fig. A.2).

Figura A.1
Passaggio
da una curva di livello
alla successiva.

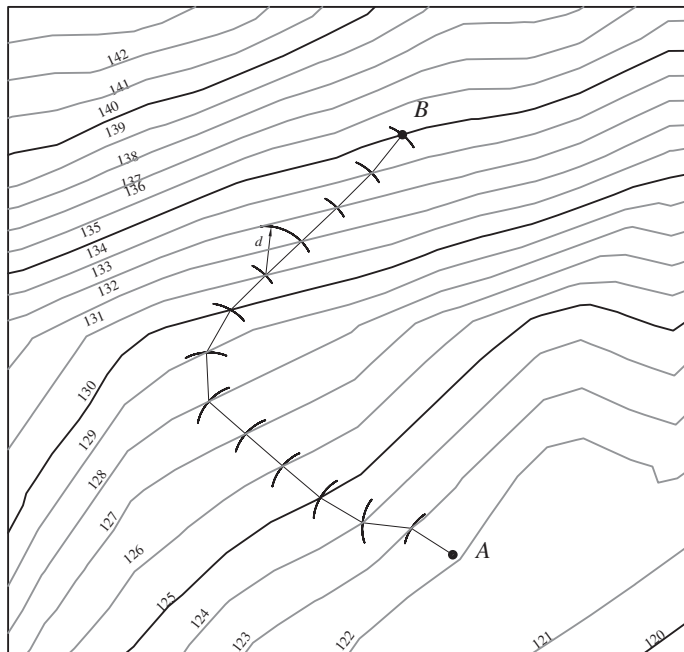


Il processo è iterativo in quanto occorre procedere per tentativi, modificando la pendenza dei segmenti, sino a ottenere il percorso più soddisfacente in termini di sviluppo e configurazione planimetrica, tenendo conto anche delle eventuali interferenze con fabbricati, corsi d'acqua ecc.

Nel caso in cui i punti B e B' non siano determinabili, in quanto d è minore della distanza tra le isoipse, è possibile scegliere liberamente il punto B , senza vincoli dettati dalla pendenza massima.

Tra gli aspetti progettuali da considerare, nell'ottica di contenere i costi e assicurare il minore impatto ambientale e paesaggistico possibile, vi sono anche quelli relativi all'opportunità di minimizzare i volumi di scavo e di riporto nonché il numero e le dimensioni delle opere d'arte.

Figura A.2
Tracciolino.



Se, lungo il percorso prescelto, è necessario superare un modesto corso d'acqua, il tracciolino, adottando un criterio semplificato, deve essere mantenuto a una quota superiore di almeno 3-5 m rispetto al pelo libero di magra. Per corsi d'acqua importanti, la quota minima del tracciato potrà essere individuata solo

- si punta il compasso in O con apertura corrispondente a R e si traccia l'arco di circonferenza T_1MT_2 ;
- lo sviluppo S della curva circolare si determina infine mediante la seguente relazione:

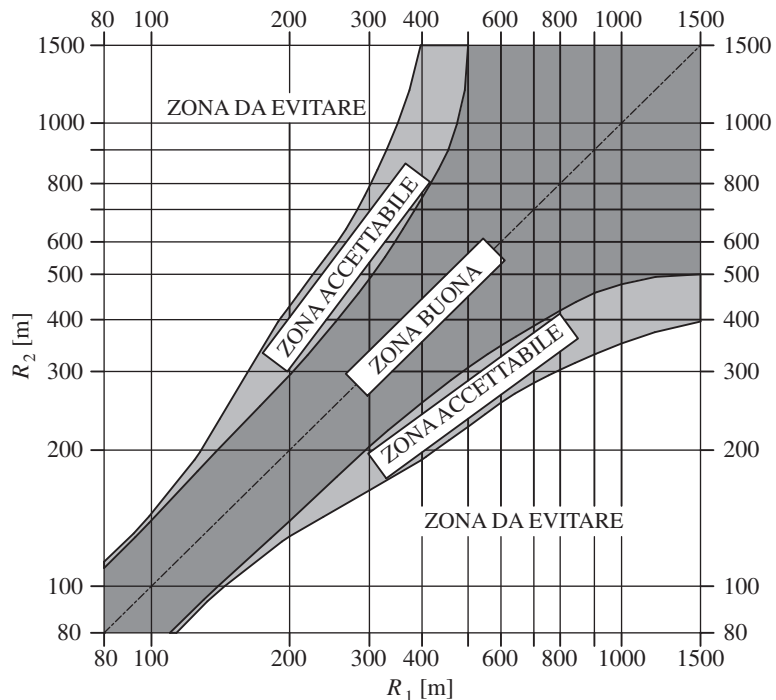
$$S = \gamma^{\text{rad}} \cdot R \quad (\text{A.3})$$

dove con γ si intende l'angolo di deflessione, uguale all'angolo al centro della curva, espresso in radianti.

Una curva circolare, per essere correttamente percepita, deve avere uno sviluppo corrispondente a un tempo di percorrenza, valutato con la velocità di progetto della curva, di almeno 2,5 secondi (D.M. 5/11/2001).

I rapporti tra i raggi R_1 e R_2 di due curve circolari che, con l'inserimento di un elemento a curvatura variabile, si succedono lungo il tracciato di strade extraurbane di tipo A, B, C, D e F, sono regolati dall'abaco riportato nella Figura A.4. In particolare, per le strade di tipo A e B detto rapporto deve collocarsi nella "zona buona"; per le strade degli altri tipi è utilizzabile anche la "zona accettabile".

Figura A.4
Rapporto tra i raggi R_1
ed R_2 di due curve
circolari consecutive.



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

$$\begin{aligned} R &> L_r && \text{per } L_r < 300 \text{ m} \\ R &\geq 400 && \text{per } L_r \geq 300 \text{ m} \end{aligned}$$

Per evitare il superamento delle velocità consentite, la monotonia, la difficile valutazione delle distanze e per ridurre l'abbagliamento nella guida notturna è

opportuno che i rettifili abbiano una lunghezza L_r contenuta entro il seguente limite:

$$L_r = 22 \cdot V_{p,max} \quad [m] \quad (A.4)$$

dove $V_{p,max}$ è il limite superiore dell'intervallo di velocità di progetto della strada, in km/h. Un rettifilo, per poter esser percepito come tale dall'utente, deve avere una lunghezza non inferiore ai valori riportati nella Tabella A.1; per velocità si intende la massima desunta dal diagramma di velocità per il rettifilo considerato.

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

Tabella A.1
Lunghezza minima di un rettifilo in funzione della velocità.

Curve circolari di raggio costante e rettifili devono essere raccordati mediante curve di transizione il cui raggio varia da valori elevati in prossimità del rettifilo fino a un valore costante nella parte centrale della curva. Il D.M. del 5/11/01 ammette l'uso di un solo tipo di curva a raggio variabile detta clotoide. Essa è progettata in modo da garantire:

- una variazione di accelerazione centrifuga non compensata (contraccolpo) contenuta entro valori accettabili;
- una limitazione della pendenza (o sovrappendenza) longitudinale delle linee di estremità della piattaforma;
- una corretta percezione ottica del tracciato.

La clotoide appartiene alla famiglia delle spirali generalizzate e ha la seguente equazione (Fig. A.5):

$$r \cdot s = A^2 \quad (A.5)$$

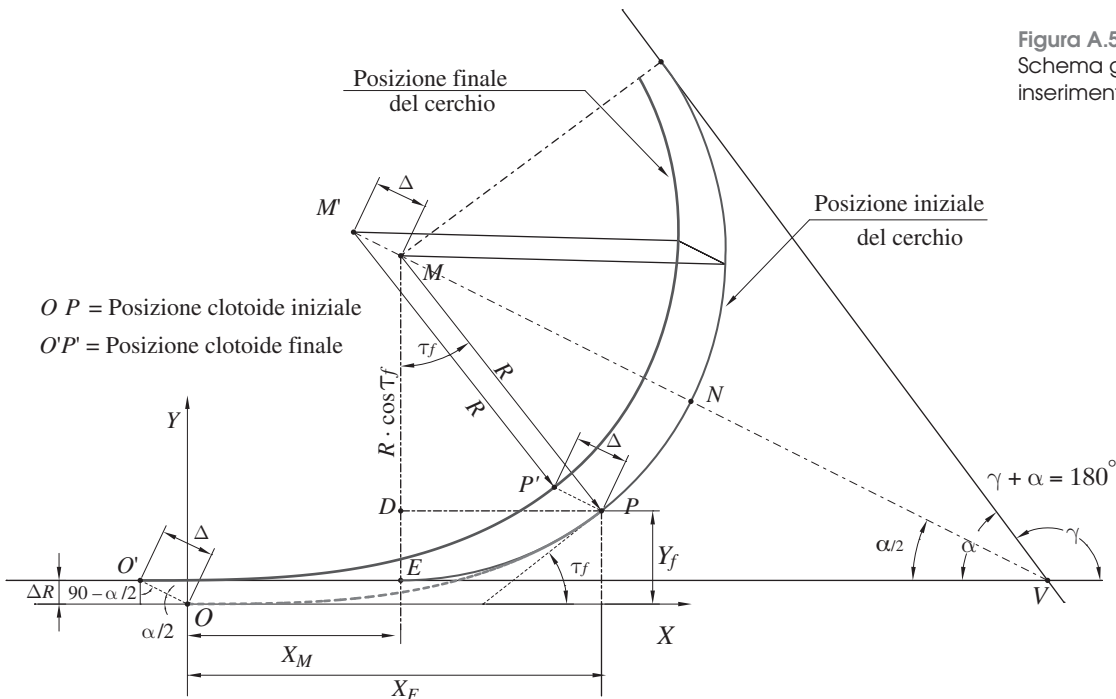


Figura A.5
Schema generico inserimento clotoide.

dove:

- r : raggio di curvatura nel punto P generico [m];
- s : ascissa curvilinea nel punto P generico [m];
- A : parametro di scala.

Dopo aver determinato il raggio di curva circolare più appropriato si procede alla scelta del parametro A da utilizzare nel tracciamento della curva seguendo i criteri stabiliti dalla normativa:

Criterio 1. Limitazione del contraccollo

Affinché lungo un arco di clotoide si abbia una graduale variazione dell'accelerazione trasversale non compensata nel tempo, fra il parametro A e la massima velocità V [km/h], desunta dal diagramma delle velocità, deve essere verificata la relazione:

$$A \geq A_{\min} = \sqrt{\frac{V^3}{c} - \frac{g \cdot V \cdot R \cdot (q_f - q_i)}{c}} \quad (\text{A.6})$$

dove:

- q_i : $i_{ci}/100$ con i_{ci} pendenza trasversale nel punto iniziale della clotoide;
- q_f : $i_{cf}/100$ con i_{cf} pendenza trasversale nel punto finale della clotoide;
- R : raggio dell'arco di cerchio da raccordare [m];
- V : velocità massima [km/h];
- g : accelerazione di gravità [m/s^2];
- c : contraccollo [m/s^3].

Trascurando il secondo termine dell'espressione del radicando e assumendo per il contraccollo il valore limite:

$$c_{\max} = \frac{50,4}{V} \quad [\text{m/s}^3],$$

si ottiene:

$$A_{\min,1} \geq 0,021 \cdot V_{p,\max}^2 \quad (\text{A.7})$$

Criterio 2. Sovrapendenza longitudinale delle linee di estremità della carreggiata

Nelle sezioni di estremità di un arco di clotoide la carreggiata stradale presenta differenti assetti trasversali, che vanno raccordati longitudinalmente introducendo una sovrappendenza nelle linee di estremità della carreggiata rispetto alla pendenza dell'asse di rotazione. Nel caso in cui il raggio iniziale sia di valore infinito, il parametro A deve verificare la seguente disuguaglianza:

$$A \geq A_{\min,2} = \sqrt{\frac{R}{\Delta i_{\max}} \cdot 100 \cdot B_i \cdot (q_i + q_f)} \quad (\text{A.8})$$

dove:

- q_i : $i_{ci}/100$ con i_{ci} pendenza trasversale iniziale in valore assoluto;
- q_f : $i_{cf}/100$ con i_{cf} pendenza trasversale finale in valore assoluto;
- R : raggio dell'arco di cerchio da raccordare [m];
- B_i : distanza fra l'asse di rotazione e il ciglio della carreggiata nella sezione iniziale della curva a raggio variabile [m];

- Δi_{\max} : sovrappendenza longitudinale massima della linea costituita dai punti che distano B_i dall'asse di rotazione (in assenza di allargamento tale linea coincide con l'estremità della carreggiata) che si può considerare pari a:

$$\Delta i_{\max} = 18 \cdot \frac{B_i}{V}. \quad (\text{A.9})$$

Nel caso in cui anche il raggio iniziale sia di valore finito, il parametro deve verificare la seguente disuguaglianza:

$$A \geq A_{\min,2} = \sqrt{\frac{B_i \cdot (q_f - q_i)}{\left(\frac{1}{R_i} - \frac{1}{R_f}\right) \cdot \frac{\Delta i_{\max}}{100}}} \quad (\text{A.10})$$

dove:

- q_i : $i_{ci}/100$ con i_{ci} pendenza trasversale iniziale in valore assoluto;
- q_f : $i_{cf}/100$ con i_{cf} pendenza trasversale finale in valore assoluto;
- Δi_{\max} : sovrappendenza longitudinale massima della linea costituita dai punti che distano B_i dall'asse di rotazione (in assenza di allargamento tale linea coincide con l'estremità della carreggiata);
- R_i : raggio nel punto iniziale della curva a raggio variabile [m];
- R_f : raggio nel punto terminale della curva a raggio variabile [m].

Criterion 3. Corretta percezione ottica del tracciato

Per garantire la percezione ottica del tracciato deve essere verificata la seguente relazione:

$$A \geq \frac{R}{3}. \quad (\text{A.11})$$

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

$$A \leq R. \quad (\text{A.12})$$

Si stabilisce il valore di A in modo che $A \geq A_{\min} = \max(A_{\min,1}, A_{\min,2})$ verificando che $\frac{R}{3} \leq A \leq R$ (Fig. A.6).

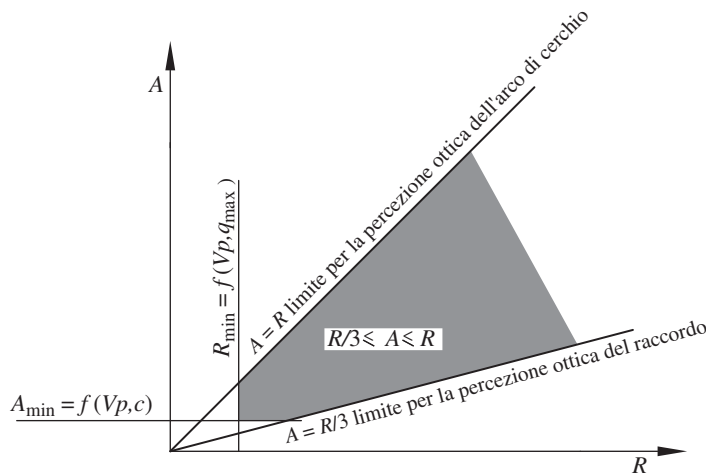


Figura A.6
Campo di ammissibilità
parametro A .

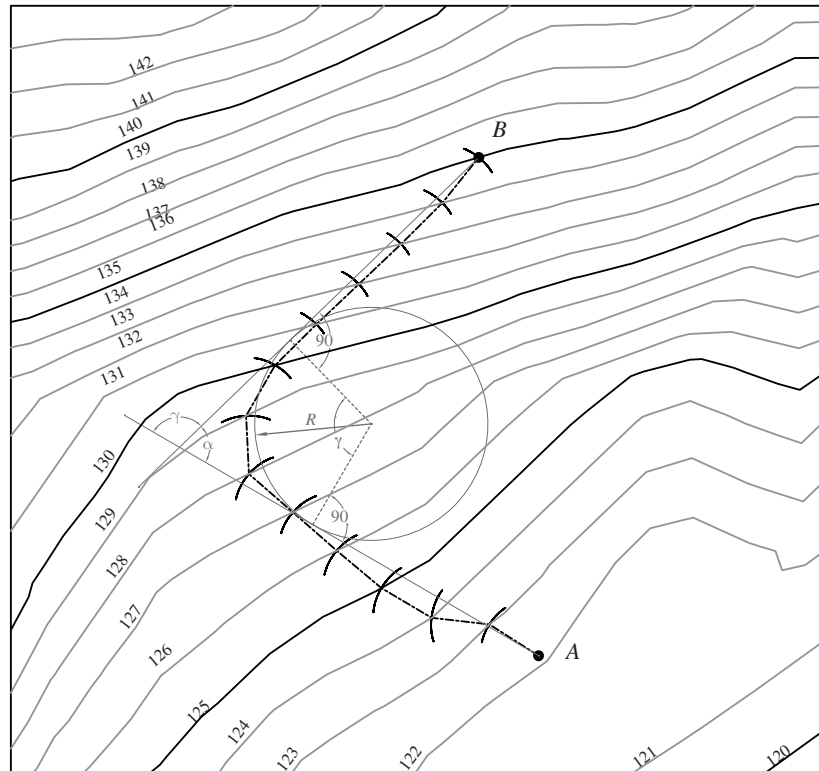
L'inserimento di una cloide tra un rettilo e una curva circolare viene generalmente eseguito seguendo il criterio a *raggio conservato*, secondo cui rimane

costante il raggio R_0 della curva circolare e la posizione del centro trasla lungo la bisettrice.

Nel tracciare la poligonale d'asse è opportuno rispettare i seguenti criteri di carattere generale (Fig. A.7):

- non discostarsi eccessivamente dal tracciolino, al fine di limitare i movimenti di materie: riporti e sterri;
- gli angoli sottesi da lati consecutivi della poligonale d'asse devono permettere l'iscrizione di curve con raggio maggiore di quello minimo;
- qualora sia necessaria la presenza di tornanti è bene che vengano realizzati dove la pendenza trasversale risulta minore;
- eventuali intersezioni con altre strade dovranno essere progettate in modo da risultare ortogonali o poco discoste da tale configurazione;
- in corrispondenza di corsi d'acqua è bene che la strada sia in rettilo e perpendicolare al corso d'acqua in modo da ridurre le dimensioni dell'opera d'arte.

Figura A.7
Rettifica.



Completata la poligonale, che costituisce la rettifica del tracciolino, è necessario inserire i "picchetti" ubicandoli secondo vari criteri di massima, integrabili tra di loro (Fig. A.8):

- in corrispondenza dei punti notevoli (tangenti, bisettrici ecc.) delle curve e delle clotoidi;
- in corrispondenza delle intersezioni dell'asse con le isoipse;

- secondo interassi stabiliti e convenienti per la definizione del tracciato (per esempio ogni 30 m) e a seconda dello sviluppo degli elementi costituenti il tracciato;
- in corrispondenza delle strutture di approccio delle eventuali opere d'arte (ponti, viadotti, muri di sostegno ecc.)

Una volta definito l'asse longitudinale medio del tracciato, si deve considerare la larghezza di ingombro effettiva della piattaforma, che dipende direttamente dalla tipologia di strada scelta (Fig. A.9).

Per curve circolari aventi raggi ridotti, ancorché superiori a R_{\min} , occorre verificare la necessità di prevedere allargamenti in curva, per consentire la sicura iscrizione dei veicoli, soprattutto pesanti, garantendo i necessari franchi tra la sagoma limite dei veicoli e i margini di corsia. Il calcolo secondo normativa si esegue applicando la relazione:

$$E = \frac{K}{R} \quad (\text{m}) \quad (\text{A.13})$$

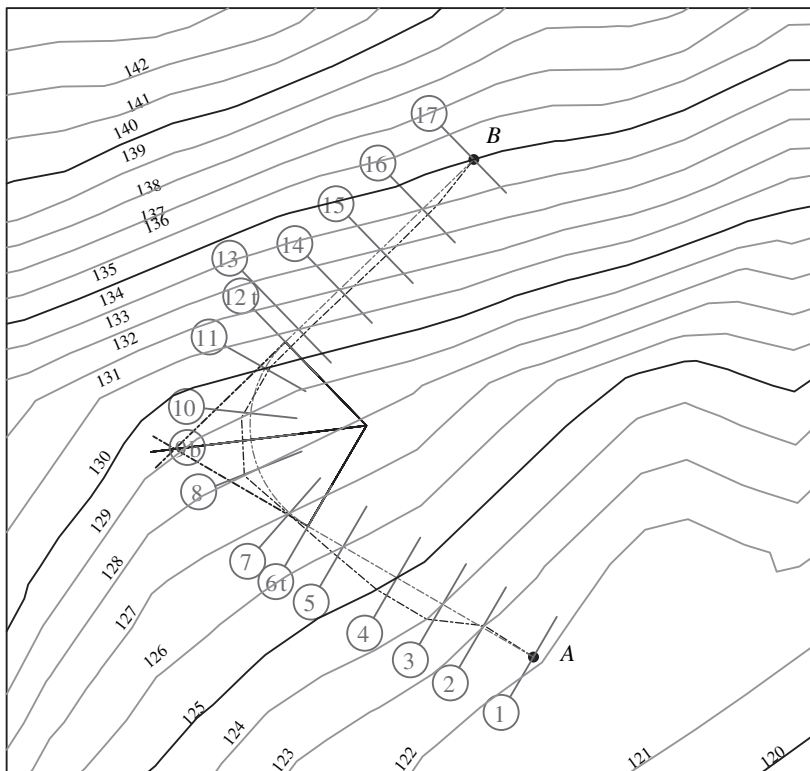


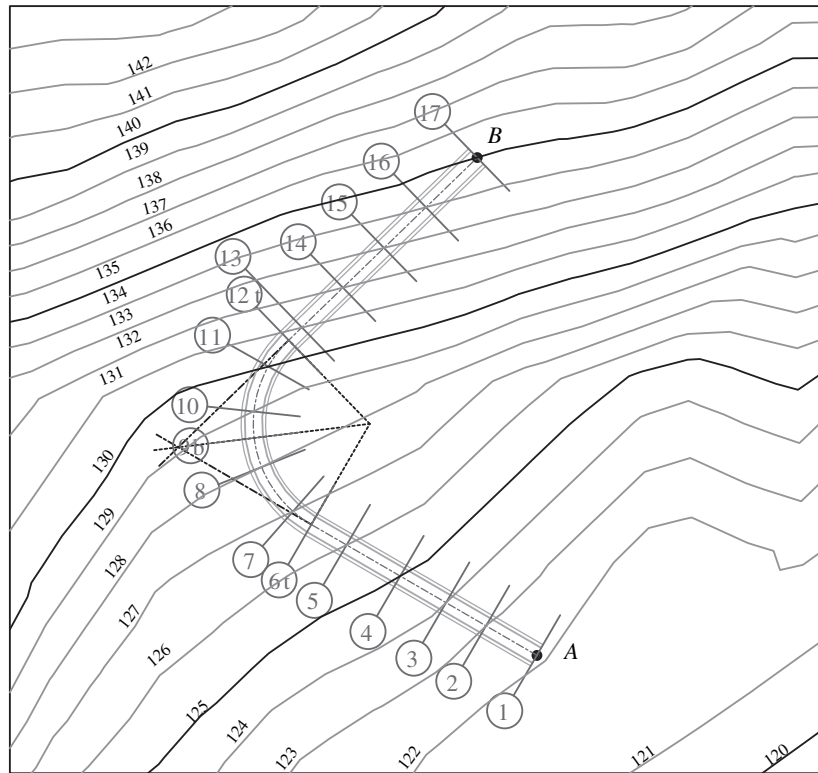
Figura A.8
Inserimento
dei picchetti.

dove:

- K : costante a valore 45;
- R : raggio esterno della corsia in metri.

L'allargamento E così ottenuto va applicato solo se il valore è superiore a 0,20 m.

Figura A.9
Ingombro
della piattaforma
stradale.



Andamento altimetrico

Terminato il progetto planimetrico, è necessario esaminare il tracciato, dal punto di vista altimetrico, mediante il profilo longitudinale che rappresenta graficamente l'andamento altimetrico del terreno in corrispondenza dell'asse del tracciato.

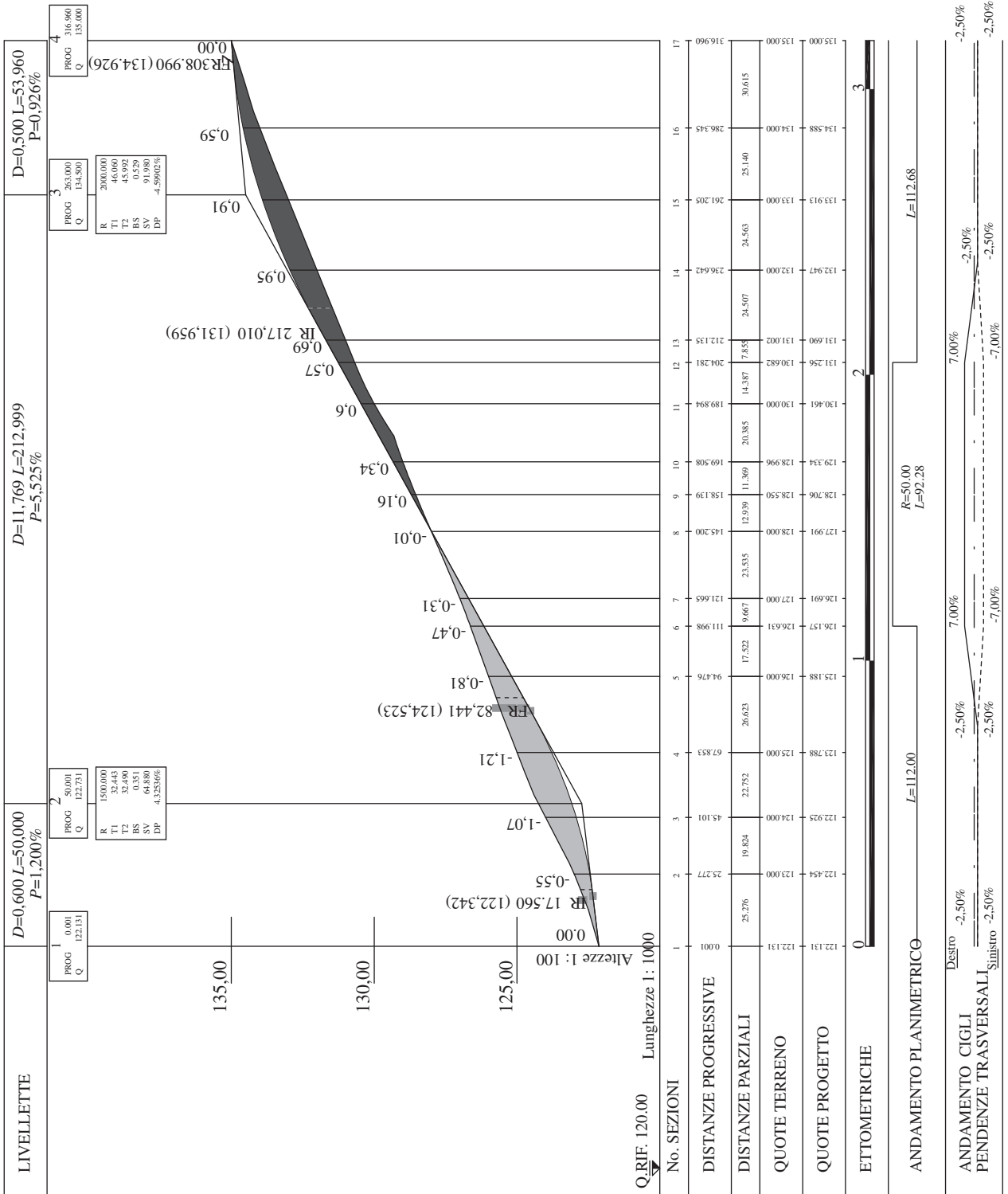
Per disegnare il profilo longitudinale si assume una quota (intera) di riferimento inferiore alla quota di progetto minima; sul segmento che, nel disegno, rappresenta tale quota vengono riportate le distanze parziali e progressive dei picchetti.

In corrispondenza di ogni picchetto si traccia, a partire dalla quota di riferimento, un segmento verticale di lunghezza pari al dislivello, in quel punto, fra la quota di riferimento e quella del terreno.

Unendo le estremità superiori di tutti i segmenti, si ottiene una spezzata, che rappresenta il profilo longitudinale del terreno lungo l'asse della strada (la cosiddetta linea nera). Per rendere il profilo longitudinale chiaro e leggibile le quote vengono generalmente rappresentate in una scala 10 volte maggiore di quella caratterizzante le distanze.

L'andamento del profilo del terreno, così ottenuto, è irregolare per cui, per poter definire l'andamento altimetrico dell'asse stradale, è necessario regolarizzarlo sostituendo alla linea nera una poligonale d'asse formata da livellette a pendenza costante raccordate da archi di parabola quadratica.

Figura A.10
 Profilo longitudinale.



Nella definizione del profilo di progetto (linea grigio scuro) è opportuno cercare di compensare le aree di sterro e quelle di riporto in prospettiva del possibile riutilizzo del terreno (tenendo conto delle restrizioni definite dalla normativa sul riutilizzo delle terre e rocce da scavo, D.M. 10/08/2012, n. 161) (Fig. A.10).

Al di sotto della quota di riferimento, nella fincatura di base, vengono riportati, secondo un ordine che può variare (Fig. A.11):

- il numero dei picchetti in ordine progressivo;
- le distanze progressive a partire dall'origine;
- le distanze parziali fra un picchetto e il successivo;
- la quota del terreno in corrispondenza di ogni picchetto d'asse;
- la quota di progetto in corrispondenza di ogni picchetto d'asse;
- le distanze ettometriche;
- i rettifili e le curve;
- l'andamento delle pendenza trasversali della piattaforma;
- la lunghezza e la pendenza delle livellette.

Figura A.11
Fincature del profilo.

LIVELLETTE	$D=0,600 \quad L=50,000$ $P=1,200\%$		
	1		2
	PROG 0,001		PROG 50,001
	Q 122,131		Q 122,731
			R 1500,000
			T1 32,443
			T2 32,490
			BS 0,351
			SV 64,880
			DP 4,32536%
No. SEZIONI	1	2	3
DISTANZE PROGRESSIVE	0,001	25,277	45,101
DISTANZE PARZIALI		25,276	19,824
QUOTE TERRENO	122,131	123,000	124,000
QUOTE PROGETTO	122,131	122,454	122,925
ETTOMETRICHE	0		
ANDAMENTO PLANIMETRICO	—————		
ANDAMENTO CIGLI	Destro	-2,50%	
PENDENZA TRASVERSALI	Sinistro	-2,50%	

Come accennato in precedenza due livellette consecutive che presentano bruschi cambiamenti di pendenza devono essere raccordate secondo normativa da un arco di parabola quadratica. I raccordi verticali possono essere di due tipi: convessi (dossi) o concavi (sacche) (Fig. A.12).

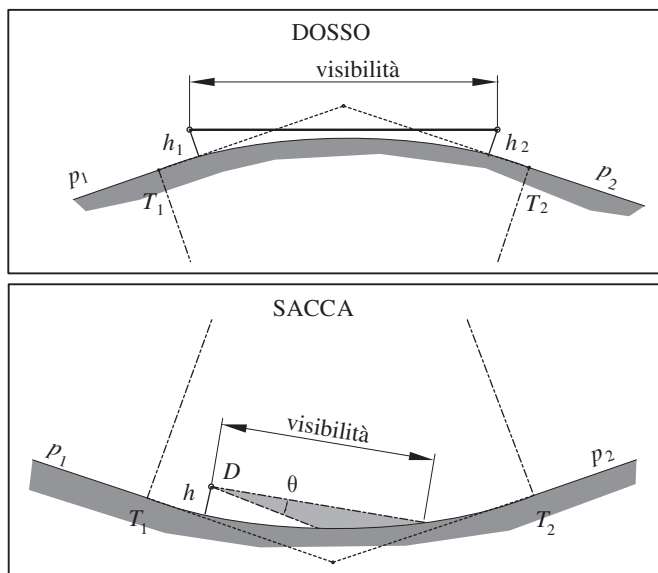


Figura A.12
Raccordi verticali.

Il tracciamento del generico raccordo almetrico avviene secondo i passi seguenti:

- Si determina la lunghezza orizzontale l del raccordo (Fig. A.13):

$$l = K \cdot |p_2 - p_1| \quad (A.14)$$

dove:

- p_1 = pendenza prima livelletta [valore decimale];
- p_2 = pendenza seconda livelletta [valore decimale];

- K = coefficiente dipendente dalla velocità di progetto (Tab. A.2).
- in riferimento alla Figura A.13 si individuano graficamente i punti di tangenza T_1 e T_2 ;
- si determina il raggio R_v del cerchio osculatore tangente alla parabola nel vertice M con gli abachi o le formule fornite dal D.M. 5/11/01.

Velocità (km/h)	48	64	80	96	112
K Raccordi concavi	1000	1500	2500	3500	4500
Raccordi convessi	800	1500	2800	5000	8000

Tabella A.2
Valori di K per raccordi concavi e convessi.

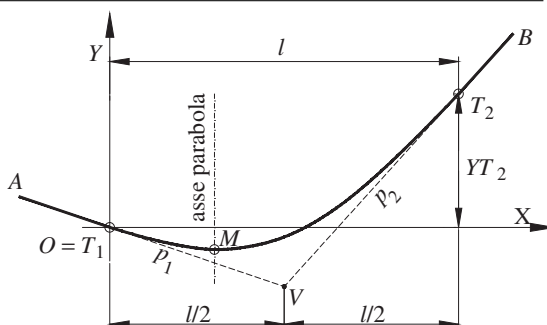


Figura A.13
Inserimento raccordi verticali.

Per raccordi convessi (dossi):

- se la distanza di visibilità da realizzare è inferiore allo sviluppo l :

$$R_v = \frac{D^2}{2 \cdot (h_1 + h_2 + 2 \cdot \sqrt{h_1 \cdot h_2})} \quad [\text{m}]; \quad (A.15)$$

- se la distanza di visibilità da realizzare è maggiore allo sviluppo l :

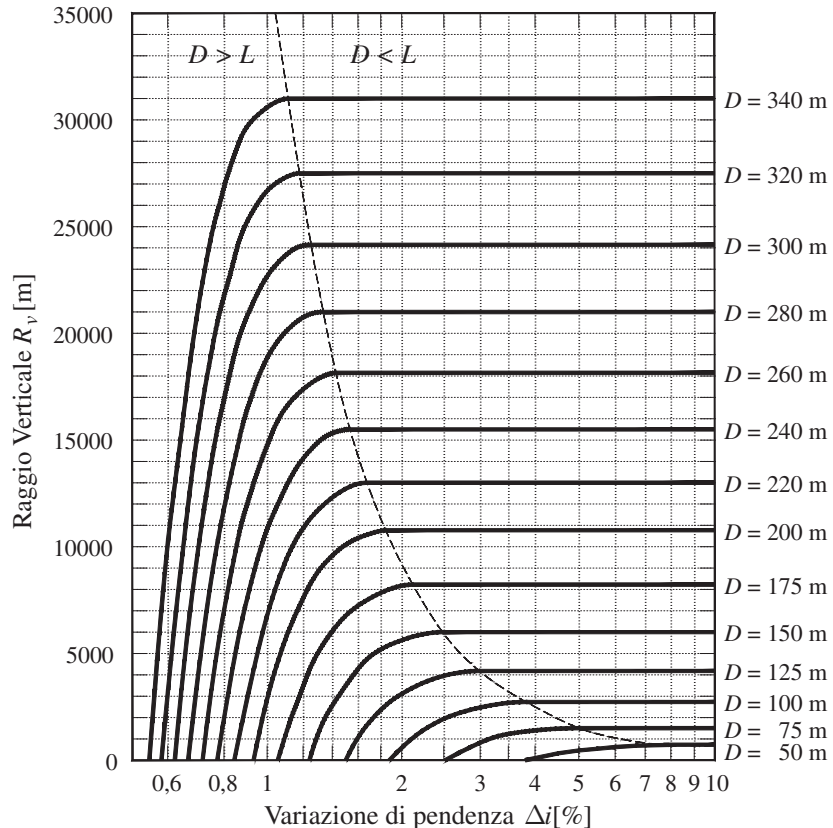
$$R_v = \frac{2 \cdot 100}{\Delta i} \cdot \left[D - 100 \cdot \frac{h_1 + h_2 + 2 \cdot \sqrt{h_1 \cdot h_2}}{\Delta i} \right] \quad [\text{m}] \quad (\text{A.16})$$

dove:

- D : distanza di visibilità da realizzare [m];
- Δi : variazione di pendenza tra le due livellette [%];
- h_1 : altezza sul piano stradale dell'occhio del conducente [m], di norma si pone pari a 1,1 m;
- h_2 : altezza dell'ostacolo [m], in caso di visibilità per l'arresto è pari a 0,10 m, in caso di visibilità per il sorpasso è pari a 1,10 m.

R_v può essere determinato anche mediante l'utilizzo di abachi: la Figura A.14 fornisce, per diversi valori di D , le lunghezze di R_v quando $h_1 = 1,10$ m e $h_2 = 0,10$ m. La Figura A.15 si riferisce invece al caso in cui $h_1 = h_2 = 1,10$ m.

Figura A.14
Abaco
per la determinazione
di R_v per $h_1 = 1,10$ m e
 $h_2 = 0,10$ m.



Per i raccordi concavi (sacche):

- se la distanza di visibilità da realizzare è inferiore allo sviluppo l :

$$R_v = \frac{D^2}{2 \cdot (h + D \cdot \text{sen } \vartheta)} \quad [\text{m}] \quad (\text{A.17})$$

- se la distanza di visibilità da realizzare è maggiore allo sviluppo l :

$$R_v = \frac{2 \cdot 100}{\Delta i} \left[D - \frac{100}{\Delta i} \cdot (h + D \cdot \text{sen } \vartheta) \right] \quad [\text{m}] \quad (\text{A.18})$$

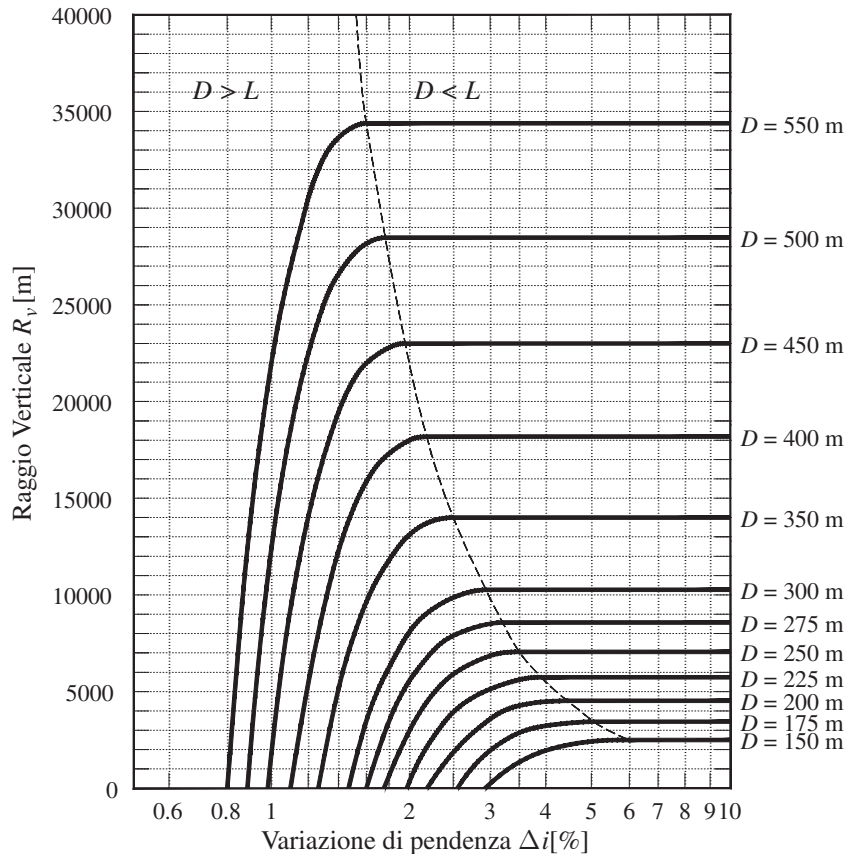


Figura A.15
Abaco
per la determinazione
di R_v per
 $h_1 = h_2 = 1,10$ m.

dove:

- D : distanza di visibilità da realizzare [m];
- Δi : variazione di pendenza tra le due livellette [%];
- h : altezza del centro dei fari del veicolo sul piano stradale [m];
- θ : massima divergenza verso l'alto del fascio luminoso rispetto all'asse del veicolo.

Ponendo $h = 0,5$ m e $\theta = 1^\circ$ si hanno i valori di R_v riportati in Figura A.16.

Si verificano le limitazioni imposte dalla normativa al raggio R_v , deve risultare:

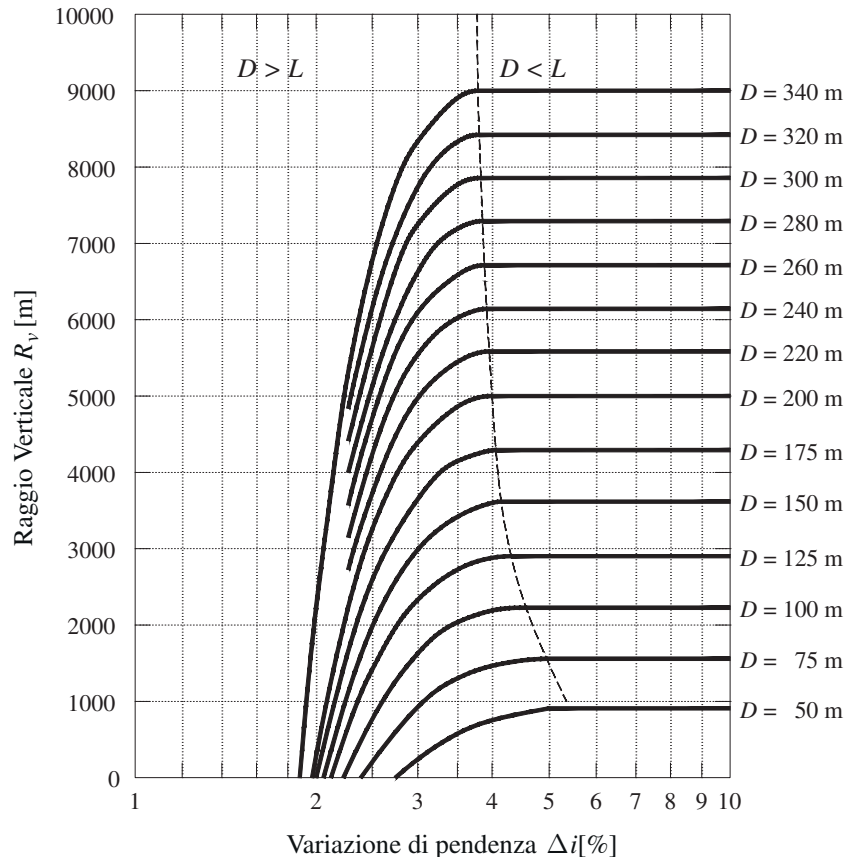
- $R_v > 40$ m per raccordi concavi;
- $R_v > 20$ m per raccordi convessi;
- $a_v = (v_p)^2 / R_v \leq 0,6$ m/s², dove v_p è la velocità di progetto della curva [m/s].

Si calcolano le coordinate X_M e Y_M avvalendosi delle seguenti formule:

$$X_M = R_v \cdot \frac{i_1 (\%) }{100} \quad [\text{m}] \quad (\text{A.19})$$

$$Y_M = -\frac{1}{2 \cdot R_v} \cdot (X_M)^2 + \frac{i (\%) }{100} \mp X_M \quad [\text{m}]. \quad (\text{A.20})$$

Figura A.16
Abaco
per la determinazione
di R_v per $h = 0,5 \text{ m}$ e
 $\theta = 1^\circ$.



La costruzione del raccordo altimetrico avviene per punti tenendo conto delle diverse scale di riduzione rispettivamente delle distanze e delle altezze.

Sezioni tipo e sezioni stradali

Dopo aver progettato l'andamento piano-altimetrico del tracciato devono essere definite le sezioni stradali. Esse evidenziano l'andamento trasversale del corpo stradale e del terreno rappresentandone le intersezioni, in corrispondenza dei picchetti, con un piano verticale normale all'asse stradale. Occorre però prima definire nel particolare le caratteristiche costruttive della piattaforma, la pendenza delle scarpate laterali, la tipologia di sistemazione degli elementi marginali, i particolari degli elementi accessori. Tali informazioni di dettaglio sono descritte dalle sezioni tipo, mentre le sezioni stradali riportano solo le informazioni generali descrittive del solido stradale. Dal punto di vista delle quote del terreno e di progetto, le tipologie possibili di sezione, nel caso in esame, sono tre: rilevato, trincea e mezzacosta.

Nelle sezioni in rilevato la linea del terreno si trova a un livello inferiore rispetto a quella di progetto (Fig. A.17).

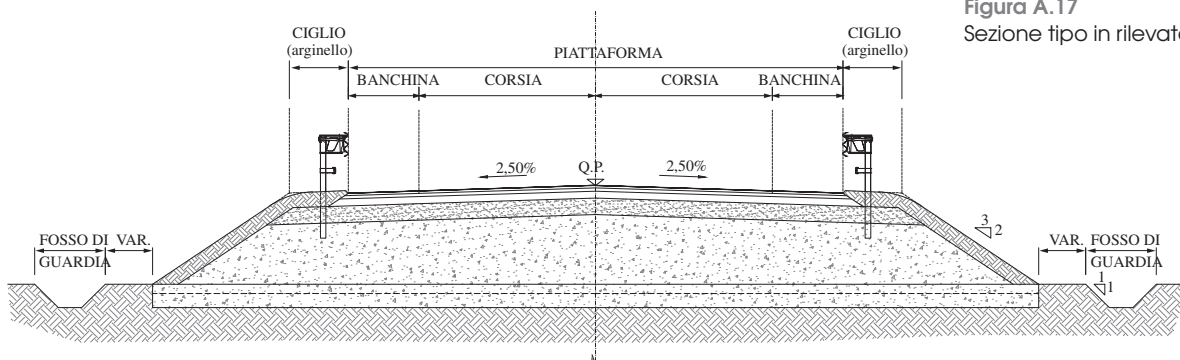


Figura A.17
Sezione tipo in rilevato.

Nelle sezioni realizzate in trincea accade il contrario: la linea del terreno si trova infatti a una quota più elevata rispetto a quella di progetto (Fig. A.18).

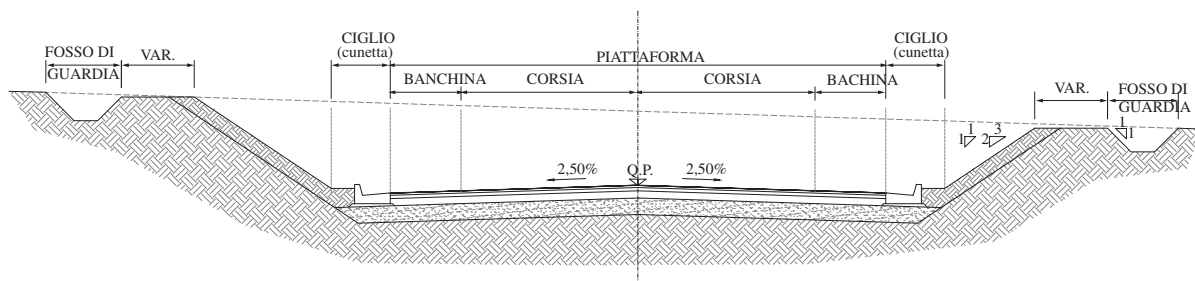


Figura A.18
Sezione tipo in trincea.

Le sezioni a mezzacosta sono caratterizzate da una parte in trincea e da una in rilevato (Fig. A.19).

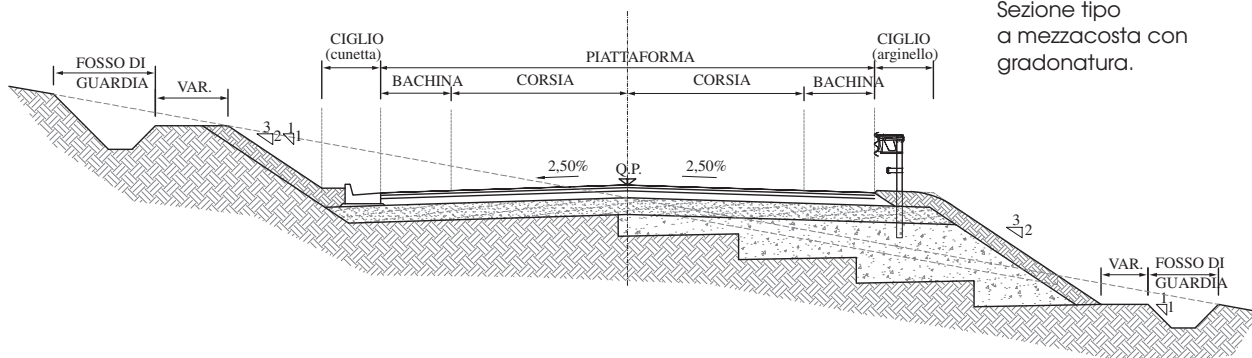


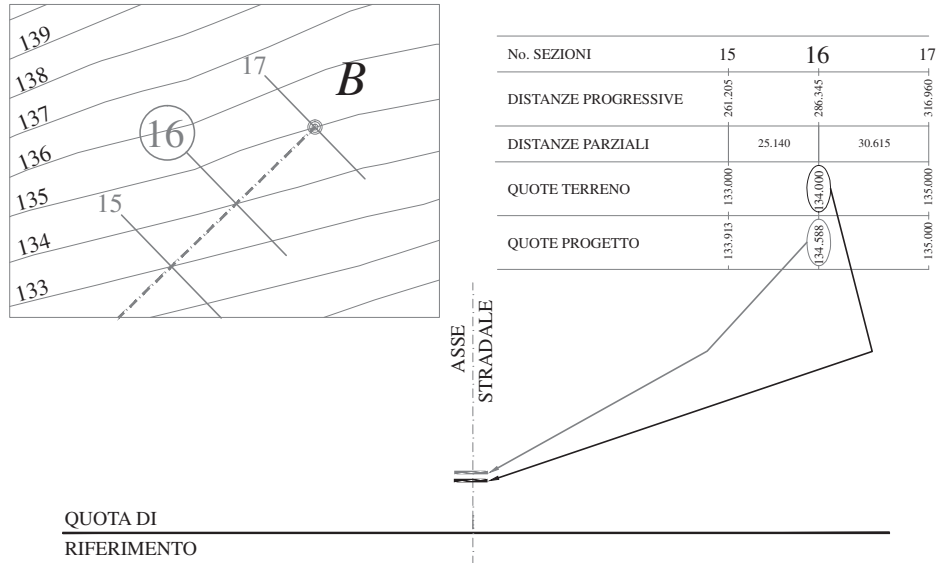
Figura A.19
Sezione tipo
a mezzacosta con
gradonatura.

Le sezioni vengono generalmente rappresentate come appaiono a un osservatore che percorre, dall'inizio alla fine, l'intero tracciato, volgendo le spalle all'origine della strada.

Per ricavare le sezioni si procede nel modo seguente:

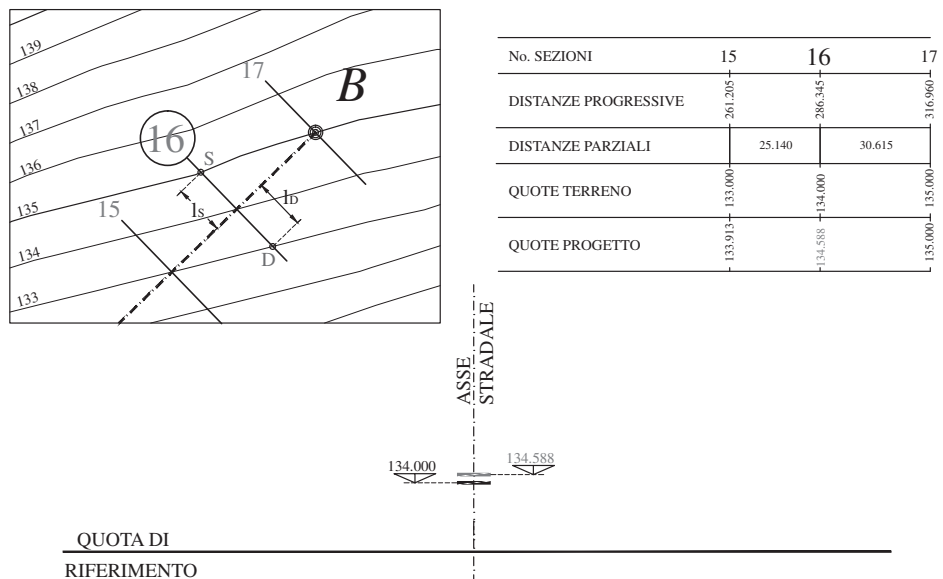
1. si riportano le quote di progetto e del terreno in corrispondenza dell'asse stradale su di un sistema cartesiano, assegnando una quota di riferimento opportuna all'asse delle ascisse (Fig. A.20).

Figura A.20
Identificazione delle quote della linea di progetto e del terreno.



2. si riporta la traccia del piano di sezione, misurando a destra e a sinistra le quote e le distanze del terreno esistente rispetto all'asse (Fig. A.21).

Figura A.21
Piano di sezione.



3. si riporta l'andamento trasversale del terreno (Fig. A.22).

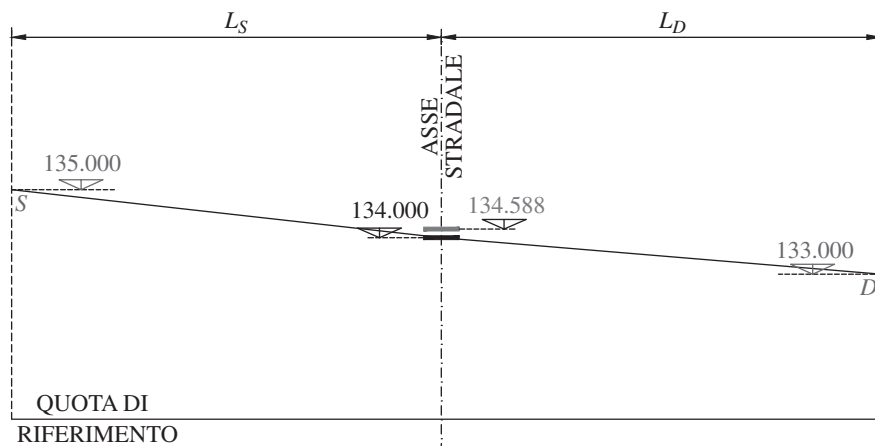


Figura A.22
Sezione trasversale
del terreno.

4. si riporta la sezione della piattaforma stradale relativa alla tipologia di strada scelta, applicando le pendenze trasversali della piattaforma calcolate in precedenza (Fig. A.23).

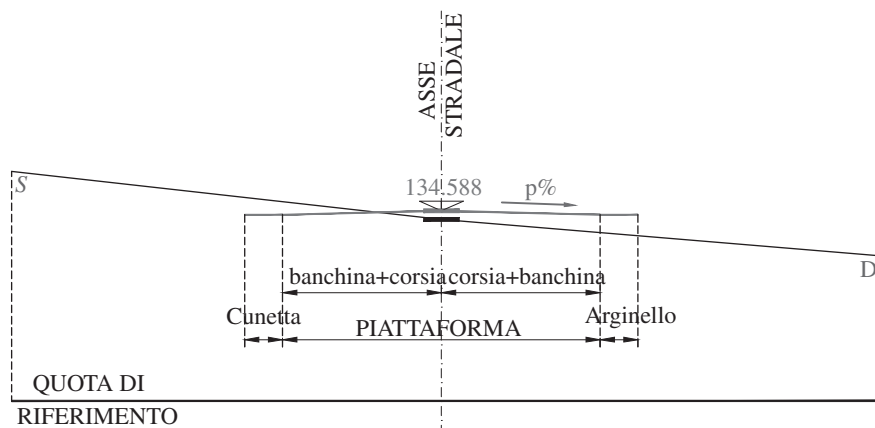


Figura A.23
Sezione trasversale
della piattaforma.

5. si completa la sezione con l'andamento delle scarpate, applicando alle scarpate in rilevato la pendenza $2/3$ (66.67%), mentre la pendenza delle scarpate in trincea, a seconda delle caratteristiche del terreno in posto, può variare da $1/1$ (100%) a $2/3$, oppure anche a pendenze inferiori in terreni particolarmente sfavorevoli (Fig. A.24).

6. una volta disegnata la sezione, a seconda del livello di definizione del progetto (preliminare, definitivo, esecutivo) si potrà completare l'elaborato aggiungendo ulteriori informazioni descrittive, quali per esempio: gli spessori della pavimentazione, gli strati di rivestimento e di bonifica dei piani di posa, i fossi di guardia ecc. Al termine delle operazioni di costruzione della sezione si procede alla quotatura degli elementi principali (Fig. A.25).

Figura A.24
Completamento
sezione.

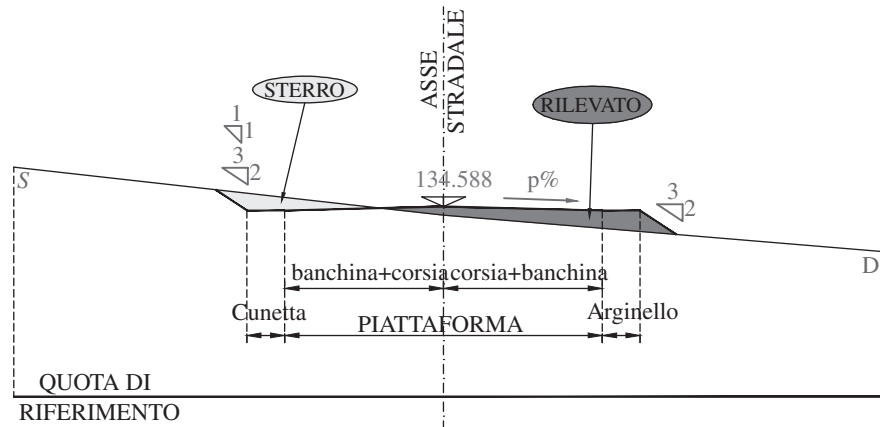
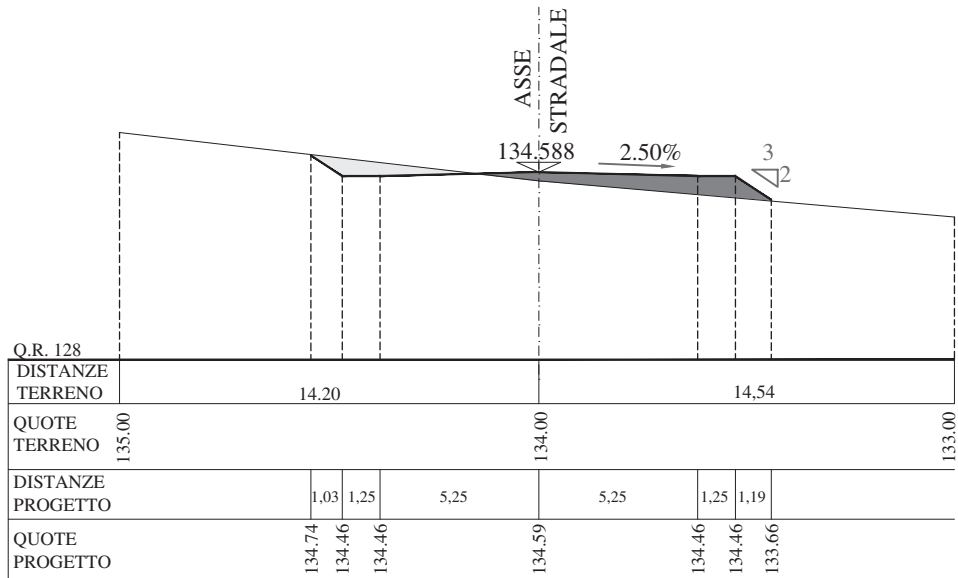


Figura A.25
Sezione trasversale
definitiva.



Calcolo dei volumi

Una volta definite le sezioni si effettua il calcolo dei volumi di sterro e riporto. Per calcolare il volume del solido stradale compreso tra due sezioni trasversali consecutive si approssima tale corpo con un prismoide delimitato dal piano di campagna, dalla piattaforma, dalle scarpate del rilevato e/o della trincea e dalle sezioni trasversali terminali del tronco considerato (Fig. A.26).

Il volume del prismoide viene calcolato utilizzando la formula di Torricelli, nota anche con il nome di formula delle sezioni raggugliate. In riferimento alla Figura A.26 si ha:

$$V = \frac{A_1 + A_2}{2} \cdot D \quad [\text{m}^3]. \quad (\text{A.21})$$

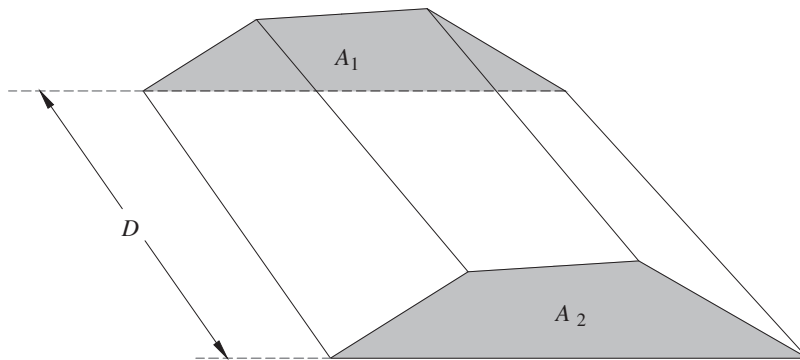


Figura A.26
Prismaide tra due
sezioni in rilievo.

A seconda della tipologia di sezioni consecutive si possono avere quattro diversi casi:

1) Solido stradale tra due *sezioni omogenee* di riporto o sterro (Fig. A.27).

Il volume si calcola, analogamente a quanto visto in precedenza, come:

$$V = \frac{R_1 + R_2}{2} \cdot D \quad [\text{m}^3] \quad (\text{A.22})$$

dove:

- R_1 : area della prima sezione $[\text{m}^2]$;
- R_2 : area della seconda sezione $[\text{m}^2]$;
- D : distanza tra le due sezioni $[\text{m}]$.

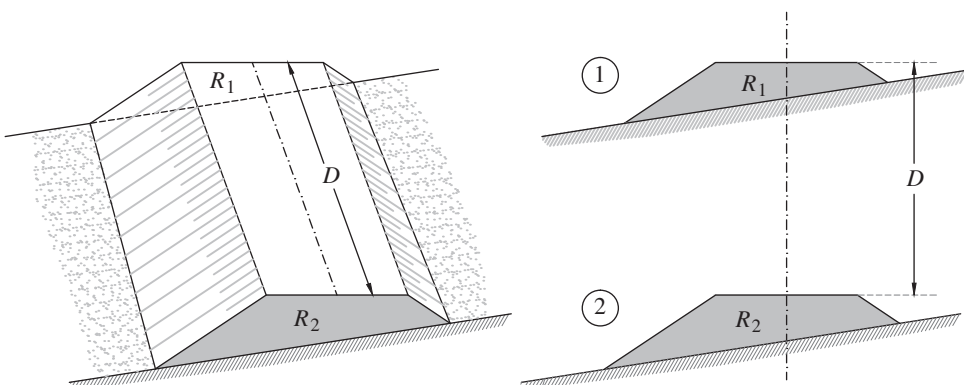
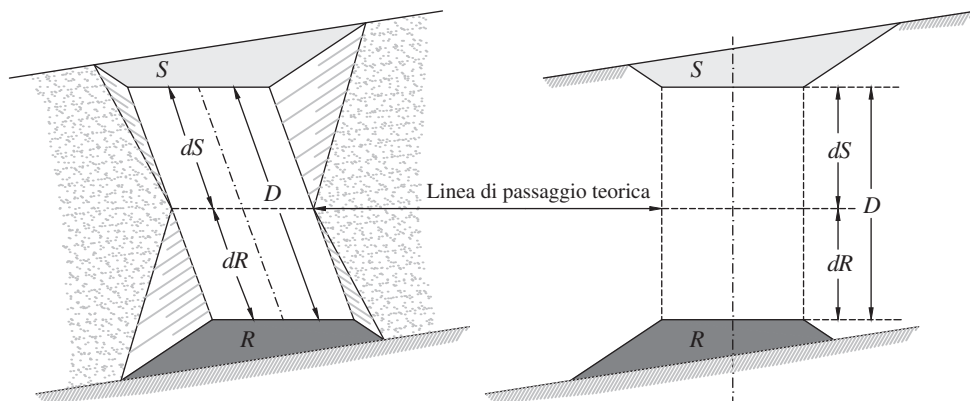


Figura A.27
Sezioni omogenee.

2) Solido stradale tra due *sezioni eterogenee*, una in trincea e una in rilievo (Fig. A.28).

Figura A.28
Sezioni eterogenee.



In questo caso vengono calcolati separatamente il volume di sterro e quello di riporto, mediante le seguenti formule:

$$V_S = \frac{S}{2} \cdot d_S \quad [\text{m}^3] \quad (\text{A.23})$$

$$\text{con } d_S = \frac{D}{S+R} \cdot S \quad [\text{m}] \quad (\text{A.24})$$

$$V_R = \frac{R}{2} \cdot d_R \quad [\text{m}^3] \quad (\text{A.25})$$

$$\text{con } d_R = \frac{D}{S+R} \cdot R \quad [\text{m}] \quad (\text{A.26})$$

dove:

- d_S : distanza della linea di passaggio dalla sezione di sterro [m];
- d_R : distanza della linea di passaggio dalla sezione di riporto [m];
- V_S : volume del cuneo di sterro [m³];
- V_R : volume del cuneo di riporto [m³];
- R : area di riporto [m²];
- S : area di sterro [m²];
- D : distanza tra le due sezioni [m].

3) Solido stradale tra una *sezione in rilevato o trincea e una sezione mista* (Fig. A.29).

In questo caso per determinare il volume bisogna scomporre il corpo stradale mediante un piano verticale passante per il punto M' e diretto secondo l'asse della strada. Il corpo stradale viene quindi diviso in due parti: a sinistra della linea $M'M$ si ha un prismoide, mentre a destra due cunei. Il volume del prismoide di riporto viene calcolato come:

$$V'_R = \frac{R'_1 + R_2}{2} \cdot D \quad [\text{m}^3] \quad (\text{A.27})$$

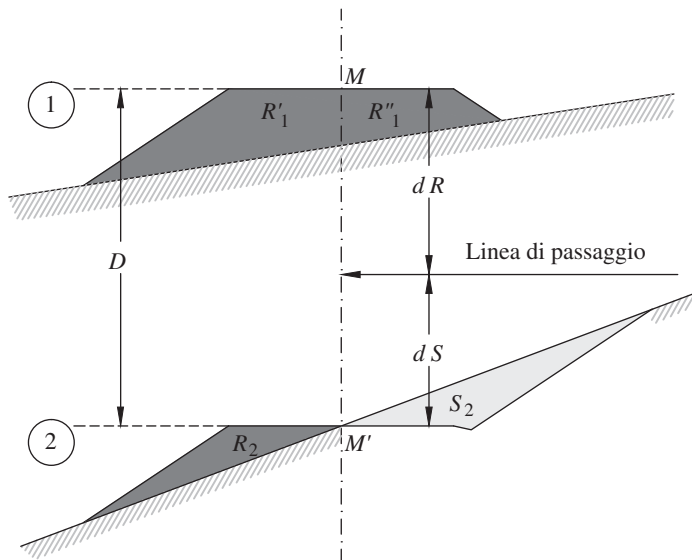


Figura A.29
Sezione mista
e sezione in rilevato.

dove:

- R'_1 : area in rilevato a sinistra della linea di passaggio $M'M$ nella prima sezione [m^2];
- R_2 : area in rilevato della seconda sezione [m^2];
- D : distanza tra le due sezioni [m].

Il volume dei cunei di sterro e riporto situati a destra della linea $M'M$ vengono calcolati mediante le seguenti espressioni:

$$V_R'' = \frac{R_1''}{2} \cdot d_R \quad [\text{m}^3] \quad (\text{A.28})$$

$$\text{con } d_R = \frac{D}{S_2 + R_1''} \cdot R_1'' \quad [\text{m}] \quad (\text{A.29})$$

$$V_S'' = \frac{S_2}{2} \cdot d_S \quad [\text{m}^3] \quad (\text{A.30})$$

$$\text{con } d_S = \frac{D}{S_2 + R_1''} \cdot S_2 \quad [\text{m}] \quad (\text{A.31})$$

dove:

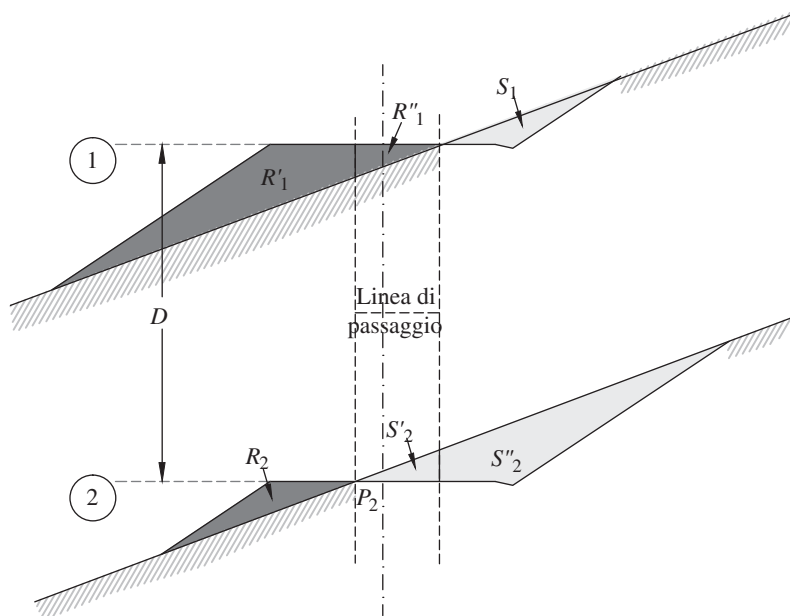
- R_1'' : area in rilevato a destra della linea $M'M$ nella prima sezione [m^2];
- d_R : distanza della linea di passaggio dalla sezione di riporto [m];
- S_2 : area in trincea a destra della linea $M'M$ nella seconda sezione [m^2];
- d_S : distanza della linea di passaggio dalla sezione di sterro [m];
- D : distanza tra le due sezioni [m].

Sommando i contributi dati dai volumi calcolati a destra e a sinistra della linea di passaggio si ottiene:

- volume sterro: $V_S = V_S''$;
- volume riporto: $V_R = V_R' + V_R''$.

4) Solido stradale tra due sezioni miste con punti di passaggio sfalsati (Fig. A.30).

Figura A.30
Sezioni miste.



Per determinare il volume, il solido viene diviso in tre parti con due piani verticali paralleli all'asse della strada e passanti rispettivamente per i punti P_1 e P_2 . Il corpo stradale viene quindi diviso in tre parti: a sinistra della linea passante per P_2 si ha un prismaide di riporto, nella parte centrale si hanno due cunei e a destra della linea passante per P_1 si ha un prismaide di sterro.

Il volume del prismaide di riporto viene calcolato come:

$$V'_R = \frac{R'_1 + R_2}{2} \cdot D \quad [\text{m}^3] \quad (\text{A.32})$$

dove:

- R'_1 : area in rilevato a sinistra della linea passante per P_2 nella prima sezione $[\text{m}^2]$;
- R_2 : area in rilevato della seconda sezione $[\text{m}^2]$;
- D : distanza tra le due sezioni $[\text{m}]$.

Il volume dei cunei di sterro e riporto situati tra le linee passanti per P_1 e P_2 vengono calcolati mediante le seguenti espressioni:

$$V''_R = \frac{R''_1}{2} \cdot d_R \quad [\text{m}^3] \quad (\text{A.33})$$

$$\text{con } d_R = \frac{D}{S'_2 + R''_1} \cdot R''_1 \quad [\text{m}] \quad (\text{A.34})$$

$$V''_S = \frac{S'_2}{2} \cdot d_S \quad [\text{m}^3] \quad (\text{A.35})$$

$$\text{con } d_S = \frac{D}{S'_2 + R''_1} \cdot S'_2 \quad [\text{m}] \quad (\text{A.36})$$

dove:

- R''_1 : area in rilevato compresa tra le linee passanti per P_1 e P_2 nella prima sezione [m²];
- d_R : distanza della linea di passaggio dalla sezione di riporto [m];
- S'_2 : area in trincea compresa tra le linee passanti per P_1 e P_2 nella seconda sezione [m²];
- d_S : distanza della linea di passaggio dalla sezione di sterro [m];
- D : distanza tra le due sezioni [m].

Il volume del prismoide di sterro viene calcolato come:

$$V'_S = \frac{S''_2 + S_1}{2} \cdot D \quad [\text{m}^3] \quad (\text{A.37})$$

dove:

- S'_2 : area in trincea a destra della linea passante per P_1 nella seconda sezione [m²];
- S_1 : area in trincea a destra della linea passante per P_1 nella prima sezione [m²];
- D : distanza tra le due sezioni [m].

Sommando i contributi dati dai volumi calcolati per le tre parti in cui è stato diviso il solido stradale si ottiene:

- volume sterro: $V_S = V'_S + V''_S$;
- volume riporto: $V_R = V'_R + V''_R$.

Computo metrico estimativo

La fase finale del progetto stradale consiste nella redazione di un computo metrico estimativo in cui vengono riportate le indicazioni relative alle lavorazioni e alle opere d'arte necessarie per la realizzazione della strada.

Generalmente il computo viene suddiviso in due capitoli principali: opere da conteggiare “a corpo” e opere da conteggiare “a misura”.

Nella parte a corpo vengono computate tutte le opere o parti di opera che risultano ben definite e per le quali, in fase costruttiva, non si prevedono variazioni geometriche sostanziali. Esempi di opere da computare a corpo possono essere: le elevazioni e gli impalcati di ponti e viadotti, le opere fuori terra in genere, le finiture, i movimenti di materie (quindi scavi e rilevati) a eccezione degli strati di bonifica dei piani di posa.

Nelle parte a misura, invece, si computano quelle lavorazioni che, seppur progettate in base a campagne dettagliate di indagini dei terreni, dell'idrologia esistente, ecc., possono presentare rischi di imprevisto geologico o altro; in tal caso vi può essere la possibilità di avere sottodimensionato o sovrastimato la geometria o le caratteristiche costruttive delle opere. Esempi classici di lavorazioni da computare a misura sono: le fondazioni sia dirette sia su pali, gli scavi in sezione per la loro esecuzione, le bonifiche e le preparazioni dei piani di posa da eseguire al di sotto dei rilevati. Recentemente le Amministrazioni committenti tendono sempre più spesso, anche alla luce delle normative in materia di contratti pubblici, a imporre la realizzazione di appalti completamente a corpo, in ragione di una razionalizzazione dei costi e di una maggiore

responsabilizzazione di tutti gli operatori coinvolti nei processi decisionali e realizzativi delle opere pubbliche.

La struttura del computo sia per la parte a corpo sia per quella a misura, dovrebbe essere realizzata per sottocapitoli omogenei e per singola opera; per esempio una struttura tipo potrebbe essere la seguente:

- movimenti di materie, dove si computano gli scavi, i rilevati, le demolizioni;
- opere d'arte maggiori, quali ponti e viadotti, suddivisi individualmente e con i relativi sottocapitoli (elevazioni, impalcati, finiture ecc.);
- opere d'arte minori, quali muri di sostegno, tombini scatolari e circolari;
- sovrastrutture stradali, quindi le fondazioni stradali e le pavimentazioni;
- barriere di sicurezza;
- segnaletica orizzontale e verticale.

All'interno del computo metrico estimativo le voci, a seconda della tipologia della lavorazione, possono essere computate per unità di volume, di peso, di area o di lunghezza.

Per esempio si computano per volume:

- gli scavi di sbancamento;
- gli scavi a sezione obbligata di fondazione;
- le operazioni di realizzazione dei rilevati stradali;
- la fornitura dei materiali da rilevato;
- la realizzazione delle fondazioni stradali;
- il conglomerato cementizio per le opere d'arte;
- i materiali per i drenaggi.

Le voci che si computano per peso possono essere:

- l'acciaio in barre ad aderenza migliorata per le armature delle opere d'arte;
- l'acciaio di carpenteria per gli impalcati metallici.

Possono essere computate per superficie, invece:

- la preparazione e compattazione del piano di posa dei rilevati;
- la fornitura e la posa dei teli geotessili anticontaminanti;
- i conglomerati bituminosi per strati di usura, binder e base;
- le casseforme per le strutture in conglomerato cementizio;
- i rivestimenti delle scarpate con terreno vegetale.

Alcune voci computate per lunghezza possono essere:

- la fornitura e posa in opera di pali in calcestruzzo;
- la fornitura e posa in opera di tubi drenanti e di aerazione;
- la fornitura e posa in opera di cunette;
- la fornitura e posa in opera di barriere di sicurezza.

Il computo metrico estimativo viene realizzato sulla base di un elenco prezzi che fornisce il costo unitario di ciascuna categoria di lavorazione necessaria per la realizzazione dell'infrastruttura viaria. In genere ogni amministrazione ha il proprio listino prezzi, ma come riferimento generale è consigliabile, almeno per la vastità delle varie lavorazioni previste, fare riferimento ai prezziari più comunemente utilizzati quali gli elenchi prezzi Anas, emessi periodicamente dai vari compartimenti regionali, oppure gli analoghi documenti delle concessionarie autostradali.

Per ottenere il costo dell'intervento specifico il prezzo unitario deve essere moltiplicato per il quantitativo di lavorazione. La somma di tutti i costi d'intervento determinano la stima economica dei lavori costituenti l'opera progettata. Vanno però computati anche i costi relativi alla sicurezza, e gli importi delle somme a disposizione dell'amministrazione, quali le somme per gli espropri, per la risoluzione delle interferenze, gli oneri fiscali, e ogni altro onere necessario al completamento dell'opera. La somma degli importi relativi ai lavori, alla sicurezza, alle somme a disposizione, rappresenta il costo complessivo dell'opera per l'ente committente.

