

ANNALI

DELLA FACOLTA' DI AGRARIA DELL' UNIVERSITA'

———— SASSARI ————

DIRETTORE: G. RIVOIRA

*COMITATO DI REDAZIONE: M. DATTILO - S. DE MONTIS - F. FATICHENTI
C. GESSA - L. IDDA - F. MARRAS - P. MELIS - A. MILELLA - A. PIETRACAPRINA
R. PROTA - A. VODRET*

studi sassaresi

ORGANO UFFICIALE
DELLA SOCIETÀ SASSARESE DI SCIENZE MEDICHE E NATURALI



Istituto di Costruzioni Rurali dell'Università di Sassari

(Direttore: Prof. S. De Montis)

STEFANO DE MONTIS* - PAOLO BAZZU**

ASPETTI TECNICI E COMPOSITIVI NELLA PROGETTAZIONE DELLE STRADE

RIASSUNTO

Gli Autori esaminano alcuni tra i principali fattori che ricorrono nella progettazione delle strade, trattandone soprattutto gli aspetti tecnici, geometrici e compositivi, in relazione anche ai diversi elementi che intervengono nella fase di approccio al progetto.

SUMMARY

The Authors examining some of the principal elements which recur in roads planning they above all muster the technical and geometric aspects of them. With a systematic way they sum up the different moments in which the project is articulated and the most important operations to execute in the initial stage of approach and the following writing out the final elaborate.

PREMESSA

Al progetto di un'arteria viaria concorrono fattori diversi riconducibili a temi che spaziano da conoscenze di cinematica alla stabilità ed all'equilibrio tra forze agenti sui corpi in movimento, da parametri geometrici e standards di sicurezza ottimali alla configurazione ed al dimensionamento dei singoli elementi che compongono le strade.

Intento dello studio è percorrere in sintesi un metodo di lavoro che riassume come affrontare correttamente alcuni aspetti tecnici della progettazione di un'arteria viaria, al fine di pervenire ad un risultato finale il più possibile razionale e coerente con le condizioni iniziali assunte al contorno.

* Professore Associato e Direttore dell'Istituto di Costruzioni Rurali.

** Collaboratore esterno.

Gli argomenti trattati sono suddivisi in sottotemi, a ciascuno dei quali corrisponde uno o più paragrafi. Per completezza e per maggior chiarezza d'esposizione, vengono inizialmente richiamati alcuni concetti di cinematica e di stabilità dei veicoli, non prima di aver elencato la classificazione corrente delle strade, utile per i riferimenti del caso. Più precisamente gli aspetti considerati sono i seguenti.

1. Classificazione delle strade.
2. Fasi del progetto stradale.
3. Aspetti tecnici e compositivi propriamente detti, nucleo centrale dell'argomento, suddivisi in sottotitoli riguardanti in particolare
 - a) la stabilità del moto,
 - b) la distanza di visibilità,
 - c) i raccordi stradali,
 - d) le intersezioni,
 - e) le livellette.

Ogni argomento viene trattato in maniera sintetica ma sufficiente ad esplorare convenientemente gli aspetti salienti che più interessano di ciascuno.

1. CLASSIFICAZIONE DELLE STRADE.

In premessa è opportuno introdurre, seppure per riassunto, la classificazione più usuale delle strade distinta in amministrativa e tecnica.

1.1. Classificazione amministrativa.

La classificazione a carattere amministrativo delle strade ordinarie venne stabilita per la prima volta in Italia con legge del 20 marzo 1865, suddivisione rimasta pressoché invariata fino ad oggi e che può essere così riassunta:

- a) Strade statali, costruite e gestite a cura e spese dello Stato, per mezzo dell'Ente preposto (ANAS).
- b) Strade provinciali, gestite a cura e spese delle Provincie tramite i propri Uffici Tecnici.
- c) Strade comunali, gestite a cura e spese dei Comuni. Tra le strade di competenza delle amministrazioni locali rivestono particolare interesse quelle urbane.
- d) Strade consortili, costruite e gestite da Consorzi (di bonifica, di strade vicinali e similari). I fondi per la realizzazione e la gestione di dette opere possono essere propri o con partecipazione di altri organismi periferici quali Regione, Comuni ecc.

Le autostrade, non citate nella legge richiamata, sono arterie di collegamento fra centri d'importanza primaria, quasi sempre con ingressi controllati e con pedaggio. Le strade finora ricordate sono anche identificate come strade pubbliche, essendo il transito aperto a tutti. Dove non è consentita la libera circolazione, le strade vengono catalogate come «non pubbliche» e ne fanno parte:

- a) le strade militari, costruite e gestite dal Ministero della Difesa,
- b) le strade interpoderali,
- c) le strade poderali o padronali.

1.2. Classificazione tecnica

Le norme tecniche italiane (B.U. del CNR n. 77 del 5/12/80), con riferimento ai moduli che compongono la piattaforma stradale e alla velocità di progetto, classificano le strade extraurbane in sei tipi, suddivisi in due gruppi, oltre a tre tipi con destinazione particolare.

a) Strade con piattaforma indipendente

Strada di tipo I - Presenta due o tre corsie per ogni senso di marcia e per veicoli a motore. Le due carreggiate sono separate da uno spartitraffico di 4 m, e fiancheggiate da una banchina laterale per sosta di emergenza.

$$110 < V \leq 140 \text{ km/h.}$$

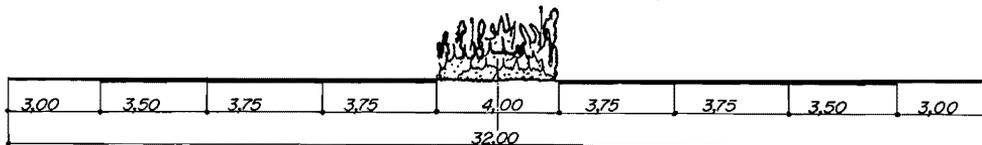


Fig. 1 - Strada di tipo I a tre corsie.
A type "I" road with three lanes.

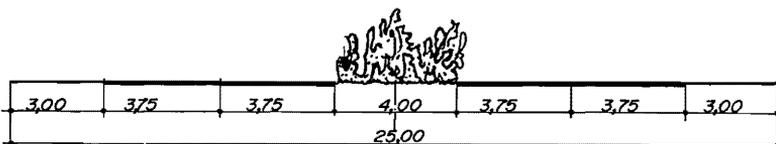


Fig. 2 - Strada di tipo I a due corsie.
A type "I" road with two lanes.

Strada di tipo II - Ha le stesse caratteristiche della precedente, a meno dello spartitraffico che può avere una larghezza di 2 m.

$$90 < V \leq 120 \text{ km/h}$$

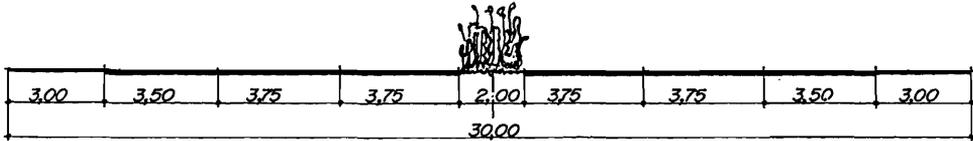


Fig. 3 - Strada di tipo II a tre corsie.
A type "II" road with three lanes.

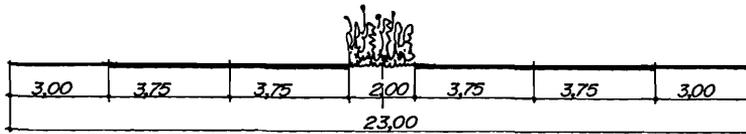


Fig. 4 - Strada di tipo II a due corsie.
A type "II" road with two lanes.

Strada di tipo III - Presenta due corsie per ogni senso di marcia e per veicoli a motore.

$$60 < V \leq 80 \text{ km/h}$$

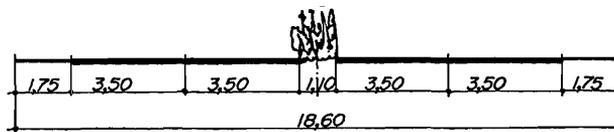


Fig. 5 - Strada di tipo III.
A type "III" road.

b) Strade con piattaforma unica

Strada di tipo IV - Ha due corsie utilizzate per il doppio senso e solo per i veicoli a motore.

$$80 < V \leq 100 \text{ km/h}$$

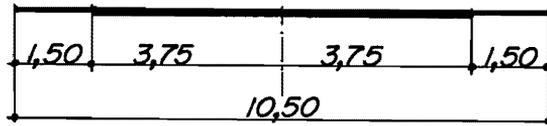


Fig. 6 - Strada di tipo IV.
A type "IV" road.

Strada di tipo V - Presenta due corsie utilizzate per il doppio senso.

$$60 < V \leq 80 \text{ km/h}$$

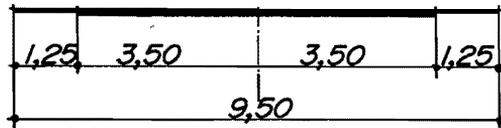


Fig. 7 - Strada di tipo V.
A type "V" road.

Strada di tipo VI - Prevede due corsie da percorrere nel doppio senso.

$$40 < V \leq 60 \text{ km/h}$$

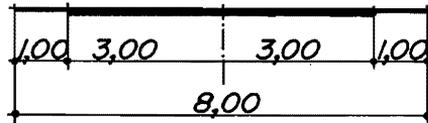


Fig. 8 - Strada di tipo VI.
A type "VI" road.

c) Strade a destinazione particolare

Strada di tipo A - Presenta due corsie per ogni senso di marcia, piattaforma unica e margine interno realizzato con segnaletica orizzontale a doppia striscia. Queste strade sono destinate a tracciati brevi e con volume di traffico intenso. Sono consentite intersezioni «a raso» purché regolate da semafori.

$$60 < V \leq 80 \text{ km/h}$$

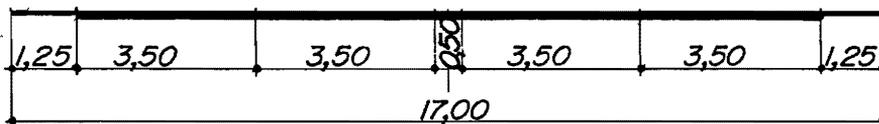


Fig. 9 - Strada di tipo A.
A type "A" road.

Strada di tipo B - Prevede due corsie utilizzate nel doppio senso. È da adottarsi preferibilmente per tracciati particolari, purché ne sia limitata l'utilizzazione da parte di veicoli con sagoma limite di 2,50 m.
 $V \leq 40$ km/h.

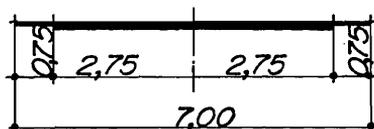


Fig. 10 - Strada di tipo B.
 A type "B" road.

Strada di tipo C - È a corsia unica utilizzata a senso unico alternato. Da adottarsi per volume di traffico estremamente ridotto, soprattutto per strade di penetrazione agraria e simili.
 $V \leq 40$ km/h

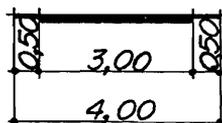


Fig. 11 - Strada di tipo C.
 A type "C" road.

2. FASI DEL PROGETTO STRADALE

Considerato in senso lato, il progetto di un'arteria viaria, a qualunque livello si operi, va inteso come un atto di programmazione territoriale riferito ad uno specifico ambito, e predisposto con il proposito di collegare insieme più punti di utenza secondo presupposti ed intenti classificabili in generale in un quadro di tipo socio-economico.

Esso si giustifica pertanto con motivazioni che derivano da un contesto di forze e di risorse attive, tra le quali spiccano e si distinguono più di altre gli aspetti sociali e culturali (collegare tra loro più comunità significa attivare o migliorare tra queste e con l'esterno reciproci rapporti di ogni tipo) e gli interessi di natura economica, promossi soprattutto attraverso interscambi frequenti e con trasporti e mobilità di persone e mezzi veloci e semplici.

Ciò premesso, è possibile considerare l'elaborazione del progetto di una o più strade come un processo articolato in più fasi distinte, disposte in successione sistematica, ma non necessariamente tra loro coesistenti e dipendenti in assoluto.

Infatti ciascuna fase corrisponde già di per sé ad un livello specifico di progettazione, che può limitarsi a semplici studi programmatici di fattibilità, oppure articolarsi in analisi più approfondite seppure di massima, oppure ancora pervenire all'elaborazione di progetti veri e propri, definiti ed esecutivi.

In sintesi i livelli del progetto possono essere i tre seguenti:

- a. progetto preliminare,
- b. progetto di massima,
- c. progetto esecutivo.

2.1. Progetto preliminare

Il progetto preliminare è inteso come studio tecnico economico rivolto a valutare l'opportunità dell'intervento. In esso vengono analizzati i possibili fattori che concorrono alla fase di metaprogetto dell'infrastruttura viaria.

È necessario perciò quantificare e classificare i volumi di traffico (intesi come unità viaggianti di persone e merci) che l'arteria dovrà sopportare nelle ore del giorno e nei diversi periodi dell'anno, in funzione delle indicazioni di pianificazione urbanistica. In questa fase si confrontano i costi di realizzazione con i costi sociali conseguenti alle scelte tecnico-geometriche effettuate. È scontato che una strada con caratteristiche funzionali di qualità limitata comporta maggiori tempi di percorrenza, usura più elevata per i veicoli, minore sicurezza di utenza.

Nello stesso studio metaprogettuale, il compito più impegnativo per l'équipe di lavoro è rappresentato dalla individuazione, classificazione e trasformazione analitica dei parametri (urbanistici, di traffico, economici, morfologici, geologici, paesaggistici, archeologici, di sicurezza) interessati al progetto stradale. L'elaborazione e la comparazione dei dati presenta notevole complessità, ma è facilitata dall'uso di strumenti informatici (hardware e software) di cui è possibile ormai disporre anche a costi relativamente contenuti.

Dal confronto ponderato delle diverse soluzioni alternative individuate deriva la decisione ottimale, che non solo ha implicazioni tecniche, ma comporta anche scelte ben precise di politica territoriale, economica e sociale.

2.2. Progetto di massima

Con il progetto preliminare si è classificata tecnicamente l'infrastruttura stradale da progettare e si è inoltre definito un indirizzo mirato, seppure al momento solo orientato, inteso quale somma-sintesi delle singole linee di tendenza individuate nell'elaborazione dei dati.

Con il progetto di massima si può ora inserire, attraverso opportune valutazioni di percorsi alternativi, il tracciato stradale nella realtà territoriale, tenendo conto e dei

costi e delle caratteristiche geomorfologiche e paesaggistiche del territorio. Per la realizzazione di questa fase del progetto, si fa uso di elaboratori cartografici che contengono la rappresentazione planoaltimetrica del terreno e di eventuali carte tematiche che interessano lo studio viario, carte divenute ormai strumento indispensabile e insostituibile nella compilazione di progetti che prevedono interventi nel territorio.

L'indagine conoscitiva è completata da sopralluoghi e da eventuali saggi sul terreno. La comparazione, da farsi sempre nel rispetto delle caratteristiche tecnico-geometriche fissate dal progetto preliminare, va estesa inoltre ai movimenti di terra ed alle opere d'arte che è necessario realizzare nei diversi tracciati prefissati e analizzati. Aspetto questo di primaria importanza perché condiziona e la funzionalità del tracciato e soprattutto l'entità degli investimenti. È opportuno ricordare che i manufatti previsti per il completamento dell'arteria dovranno essere valutati con lo stesso criterio di approssimazione: è perciò superfluo e inutile affrontare calcoli rigorosi quando parte delle misure è stata per esempio determinata per via grafica.

Ma ciò non va inteso come rinuncia al rigore tecnico necessario, perché altrimenti si rischia di elaborare dati e costi infondati che sarebbero non solo non significativi ma persino dannosi se utilizzati quale premessa alla fase successiva del progetto.

2.3. Progetto esecutivo

Un progetto di massima ben articolato, fondato cioè su dati che, anche con le necessarie e inevitabili approssimazioni, corrispondano quanto più possibile alla realtà territoriale del momento, facilita notevolmente il lavoro di redazione del progetto esecutivo; in tal caso soprattutto è possibile la stesura di elaborati tecnico-economici rigorosi e affidabili, perché conseguenza diretta, non solo di studi successivi attendibili, ma anche risultato dell'elaborazione rigorosa e complessa di dati e parametri derivati da rilievi operativi di campagna.

Il tracciato, orientato e definito nella fase progettuale precedente, viene trasportato sul terreno con metodi diversi.

Se la corrispondenza tra ipotesi e realtà rientra nelle tolleranze consentite (queste intese in senso lato, ma in particolare come possibilità di rispettare il raggio minimo dei raccordi e la pendenza massima), si procede al rilievo di dettaglio. Qualora si riscontrino incongruenze non tollerabili (questo è tanto più frequente quanto più scadente è la base cartografica impiegata) si deve procedere di volta in volta con accorgimenti differenti, tali da consentire il rispetto delle caratteristiche tecnico-geometriche imposte dalle scelte iniziali, accettate e acquisite come proprie dalla committenza. Nell'elaborazione del progetto esecutivo è opportuno tener conto che esso è necessario comprenda gli elementi utili per realizzare l'intera opera, e

che la qualità del manufatto stradale dipende dalla completezza dei dati tecnico-economici, e dal rigore e dalla semplicità con cui vengono compilati gli elaborati tecnici e amministrativi, che successivamente faranno parte integrante degli atti esecutivi che regoleranno la fase di realizzazione (capitolati, disciplinari, atti di contratto d'appalto in genere).

3. ASPETTI GENERALI DELLA PROGETTAZIONE STRADALE

Come accennato la progettazione di una strada richiede la conoscenza di nozioni complesse che interessano tra l'altro il comportamento di un corpo che si muove lungo una traiettoria, le forze che agiscono sul suo baricentro, le connessioni tra stabilità dei veicoli e geometria della strada, gli accorgimenti da adottare per rendere il tracciato sicuro e affidabile, ed altro ancora.

Perciò prima di esaminare gli aspetti tecnici e funzionali propri della progettazione stradale, sembra utile richiamare alcuni principi elementari di meccanica e di stabilità del moto, per introdurre e meglio comprendere successivamente gli argomenti che più interessano.

3.1. Stabilità del moto

Vengono riportati per riassunto alcuni cenni sul moto e sulle condizioni di stabilità dei veicoli.

3.1.1. Richiamo sul moto dei veicoli

Un veicolo in movimento, può essere assimilato ad un corpo che si sposta lungo una traiettoria tridimensionale prefissata (asse della carreggiata), sollecitato da forze di volume e di superficie. Si intendono con le prime le azioni a distanza (forza gravitazionale, centrifuga ed altre) e con le seconde le azioni di contatto (forza di trazione e di frenata in particolare).

Poiché si tratta di un corpo in movimento, le forze che interessano la stabilità sono quelle agenti trasversalmente alla traiettoria e si considerano applicate al baricentro del veicolo.

Le forze aventi direzione tangente alla traiettoria riguardano particolarmente la meccanica della locomozione e hanno scarsa influenza sulla stabilità dei veicoli.

Tralasciando perciò le azioni tangenziali, ai fini dello studio si considerano le forze agenti sul piano baricentrico del veicolo, quali

- a) la forza peso P , diretta verticalmente verso il basso e componente intrinseca del mezzo di locomozione,

b) la forza centrifuga orizzontale F_o , diretta radialmente verso l'esterno del raccordo orizzontale e componente che dipende dalla velocità,

c) la forza centrifuga verticale F_v diretta verso l'alto nei dossi e verso il basso nelle sacche, componente che dipende anch'essa dalla velocità.

La stabilità del veicolo, in termini scalari, è affidata alla relazione generale di equilibrio

$$e = \frac{F_o}{P \pm F_v} \quad 1)$$

nella quale si attribuisce, nei raccordi verticali, il segno (+) alle sacche e il segno (-) ai dossi. È appena il caso di segnalare che il coefficiente e non rappresenta una condizione di equilibrio, bensì un limite di sicurezza da non superare per ogni tipo di curva e di veicolo.

3.1.2. Stabilità dei veicoli e connessioni con la geometria della strada

L'equazione di equilibrio introdotta in precedenza, resa in forma esplicita, permette di determinare le connessioni tra stabilità del veicolo e geometria della strada.

Ricordando che

$$P = m g \quad (\text{peso del veicolo}) \quad 2)$$

$$F_o = m \frac{V^2}{R_o} \quad (\text{forza centrifuga orizzontale}) \quad 3)$$

$$F_v = m \frac{V^2}{R_v} \quad (\text{forza centrifuga verticale}) \quad 4)$$

in cui

m è la massa del veicolo,

g l'accelerazione di gravità (9,8 m/sec²),

V la velocità di riferimento (m/sec),

R_o il raggio del raccordo orizzontale (m),

R_v il raggio del raccordo verticale (m),

ed esprimendo la relazione generale di equilibrio in funzione delle suddette grandezze si ottiene

$$e = \frac{m \frac{V^2}{R_o}}{m g \pm m \frac{V^2}{R_v}} \quad 5)$$

da cui si ricava $\frac{V^2}{R_o} = e g \pm \frac{e V^2}{R_v}$, e dividendo per V^2 , $\frac{e g}{V^2} = \frac{1}{R_o} \pm \frac{e}{R_v}$, in cui il segno - viene assunto per le sacche.

Risolvendo

$$R_o = \frac{V^2}{e \left(g \pm \frac{V^2}{R_v} \right)} \quad (\text{raggio dei raccordi orizzontali}) \quad 6)$$

$$R_v = \frac{V^2}{\frac{V^2}{R_o} \cdot e - g} \quad (\text{raggio dei raccordi verticali}) \quad 7)$$

$$V = \sqrt{\frac{e g}{\frac{1}{R_o} \pm \frac{e}{R_v}}} \quad (\text{velocità di riferimento}) \quad 8)$$

Dalle tre relazioni è possibile desumere le caratteristiche del moto lungo la traiettoria mistilinea del tracciato. In particolare se il raccordo orizzontale si sviluppa con pendenza nulla le relazioni precedenti si semplificano per R_o e V notevolmente nelle seguenti

$$R_o = \frac{V^2}{e g} \quad 9)$$

$$V = \sqrt{\frac{e g}{\frac{1}{R_o}}} \quad 10)$$

3.1.3. Stabilità allo schiacciamento e al sollevamento

Le condizioni di equilibrio allo schiacciamento e al sollevamento sono legate al peso della vettura P ed alla forza centrifuga F_v .

Essendo F_v positiva o negativa a seconda del tipo di raccordo, è necessario pre-fissare

a) nelle sacche (ed in tal caso P e F_v sono concordi e pertanto si sommano) un limite allo schiacciamento,

b) nei dossi (P e F_v sono di segno contrario) un limite di stabilità.

I coefficienti empirici normalmente adottati a salvaguardia del comfort di viaggio sono ampiamente sufficienti a garantire anche la stabilità del veicolo nei dossi. Le sollecitazioni che derivano in tali condizioni dallo schiacciamento nelle sacche sono facilmente sopportabili dalle parti meccaniche di sospensione del mezzo.

3.1.4. Stabilità allo sbandamento

Un veicolo che percorre una traiettoria curvilinea è sollecitato trasversalmente dall'accelerazione centrifuga F_o .

Affinché non vi sia traslazione orizzontale di sbandamento è necessario che l'aderenza tra le ruote del veicolo e la pavimentazione stradale sia tale da superare il valore F_o ; ciò per l'equazione generale di equilibrio

$$e = \frac{F_o}{P \pm F_v} \leq ft \quad 11)$$

da cui

$$F_o \leq ft (P \pm F_v) \quad 12)$$

dove ft è il coefficiente di aderenza trasversale, che dipende dal tipo di pneumatico, dalla condizione della pavimentazione stradale e dalla velocità.

Le norme americane (A.A.S.H.O.) sulla base di riferimenti diretti, assumono per ft un valore massimo pari a 0,16 per velocità $V = 48$ km/h e un valore minimo di 0,12 per $V = 112$ km/h. Tali standards, di fatto molto bassi, sono stabiliti per maggiore sicurezza e migliore comfort di viaggio. In condizioni climatiche favorevoli, il valore di ft può essere portato fino a 0,20 ÷ 0,25 per basse velocità ed a 0,16 ÷ 0,20 per velocità più elevate.

3.1.5. Stabilità al ribaltamento

Affinché un veicolo non sia soggetto a rotazione rispetto al piano trasversale con effetti di ribaltamento, è necessario che la sommatoria dei momenti delle forze agenti riferiti al centro di rotazione sia nulla

$$\Sigma Mg = 0 \quad 13)$$

Per l'equazione generale di equilibrio, i momenti rispetto al baricentro del mezzo devono risultare

$$F_o \cdot h \leq (P \pm F_v) s/2 \quad 14)$$

o anche

$$\frac{F_o}{P \pm F_v} \leq \frac{s/2}{h} \quad 14')$$

in cui h è l'altezza del baricentro riferita al terreno ed $\frac{s}{2}$ la metà dello scartamento del veicolo.

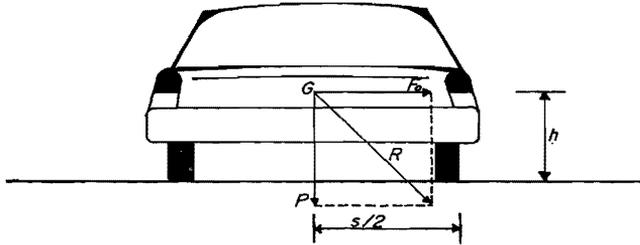


Fig. 12 - Stabilità alla rotazione.
Stability at rotation.

Il rapporto $\frac{s/2}{h}$ rappresenta un ulteriore limite per il coefficiente e , ed evidenzia quanto la stabilità al ribaltamento dipenda dalle caratteristiche dimensionali del mezzo. Ricordando le condizioni di equilibrio della statica grafica, la stabilità alla rotazione si ha quando la risultante R delle forze applicate cade all'interno dello scartamento.

3.1.6. Sopraelevazione in curva

L'equazione di equilibrio considerata finora si riferiva al moto di un mezzo in curva sul piano orizzontale. È invece ampiamente sperimentato che sopraelevando il bordo esterno della curva le condizioni di equilibrio migliorano e questo non tanto perché cambiano le forze in gioco ma perché si riduce l'effetto e l'azione di queste sul veicolo.

Pertanto, inclinando trasversalmente di un angolo α il piano della strada e riconsiderando sotto il profilo vettoriale le forze agenti, poiché con riferimento alla fig. 13 valgono le seguenti relazioni

$$\begin{aligned}
 i &= \operatorname{tg} \alpha \\
 P' &= P \cos \alpha \\
 P'P &= P \operatorname{sen} \alpha \\
 F'_0 &= F_0 \cos \alpha \\
 F'_0 F_0 &= F_0 \operatorname{sen} \alpha \\
 F'_v &= F_v \cos \alpha \\
 F'_v F_v &= F_v \operatorname{sen} \alpha
 \end{aligned}$$

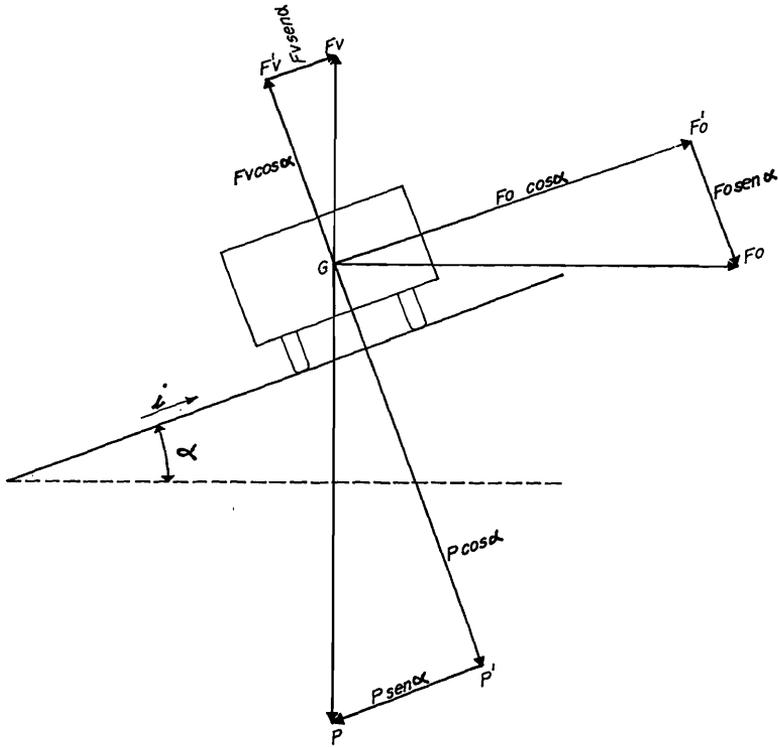


Fig. 13 - Distribuzione delle forze agenti sul veicolo in curva con strada sopraelevata. (Le componenti PP' , F'_oF_o e F'_vF_v sono da considerarsi applicate al baricentro).
 Forces working on a vehicle on a banked road.

per l'equazione dei momenti si ottiene

$$(F'_o - P'P \pm F'_vF_v) \cdot h \leq (P' + F'_oF_o \pm F'_v) s/2 \quad (15)$$

ossia

$$\frac{F'_o - P'P \pm F'_vF_v}{P' + F'_oF_o \pm F'_v} \leq \frac{s/2}{h} \quad (15')$$

Tale condizione è più favorevole rispetto alla precedente per la diversa entità delle forze in gioco, com'è facile verificare. È scontato che se si inverte l'inclinazione della sede stradale le condizioni generali di equilibrio peggiorano, fatto riscontrabile

nelle curve realizzate in contropendenza, che presentano le insidie e i pericoli a tutti noti.

3.2. Distanza di visibilità

Di significativa importanza per la qualità di una strada è la determinazione corretta delle distanze di sicurezza, differenziate per arresto, sorpasso e visuale libera.

3.2.1. Distanza di visibilità per l'arresto

La distanza di visibilità necessaria per l'arresto D_a rappresenta un elemento significativo nello studio dello spazio di visuale: trascurarne qualsiasi dettaglio può comportare insidie per la circolazione dei veicoli. Premesso che la distanza di visibilità di arresto deve essere garantita in qualsiasi punto del tracciato, essa viene misurata in metri lungo l'asse della corsia e con l'osservatore posto all'altezza di 1,10 m rispetto alla pavimentazione stradale e con l'ostacolo considerato a 0,15 m o 1,10 m d'altezza, a seconda che si tratti di un corpo fermo o di un veicolo in movimento. Pertanto

$$D_a = V \cdot t + \frac{V^2}{2g \left(f \pm \frac{i}{100} \right)} \quad 16)$$

in cui

V è la velocità di progetto in m/sec,

t il tempo di percezione e reazione che si assume pari a 1,5 sec per condizioni di attenzione concentrata e pari a 2 sec per condizione di attenzione diffusa,

g l'accelerazione di gravità (9,8 m/sec²),

f il coefficiente di aderenza longitudinale che dipende dalla velocità e si ricava dalla tabella 1,

Tab. 1

km/h	40	60	80	100	120	140
f	0,43	0,37	0,33	0,31	0,30	0,29

i la pendenza espressa in valori percentuali.

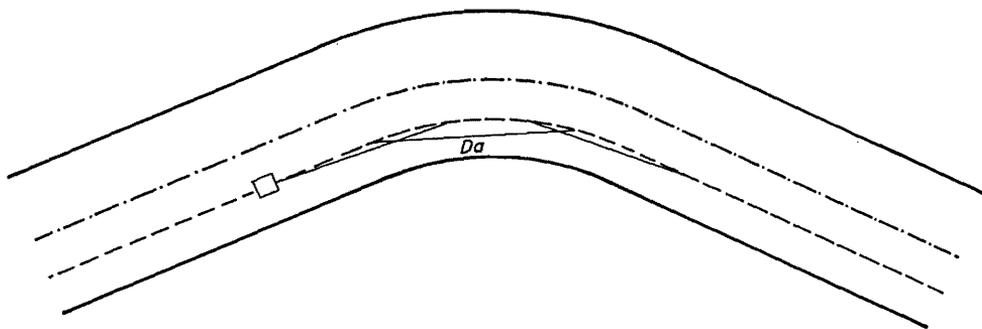


Fig. 14 - Verifica grafica della distanza di visibilità in curva.
Graphic check of range of visibility on a curve.

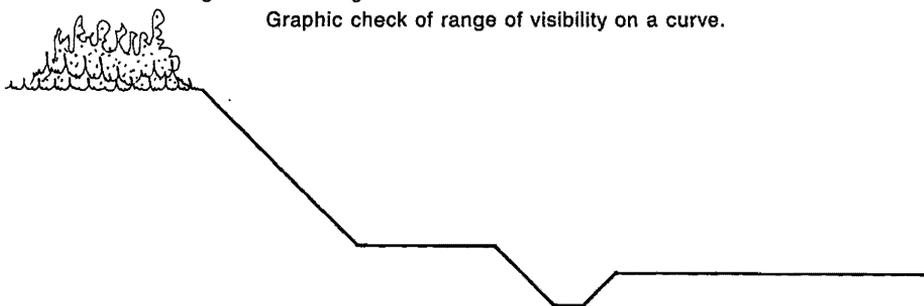


Fig. 15 - Taglio di scarpata per consentire e/o migliorare la distanza di visibilità in curva.
Cut of a slope to improve visibility on a curve.

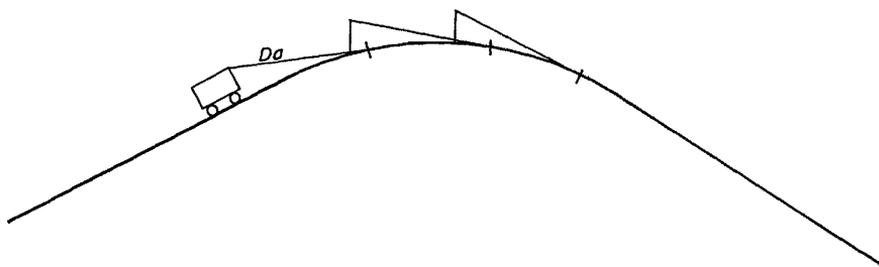


Fig. 16 - Verifica grafica della distanza di visibilità lungo un dosso.
Graphic check of range of visibility at a cat's back.

3.2.2. Distanza di visibilità di sorpasso.

Si considerano a tal fine due casi distinti, a seconda che sia occupata o meno la corsia destinata al traffico in senso opposto.

Nel primo caso, e pertanto con traffico reale nella corsia opposta, la distanza ordinaria di visibilità di sorpasso, espressa in metri, vale

$$D_s = 4 V \left(4 + \frac{L_m}{\Delta v} \right) \quad 17)$$

in cui

V è la velocità di progetto in m/sec,

L_m la media tra le lunghezze del veicolo che sorpassa e del veicolo che viene sorpassato,

Δv la differenza tra le velocità dei due veicoli.

Considerando invece libera la corsia destinata al traffico in senso opposto, la distanza ridotta di sorpasso, espressa ancora in metri, è

$$D_{rs} = \frac{1}{2} D_s \quad 18)$$

La distanza di visibilità di sorpasso non viene generalmente garantita lungo l'intero tracciato, così come detto in precedenza per la distanza d'arresto, ma soltanto per una parte di esso. Ne consegue che ad una elevata percentuale di affidabilità per il sorpasso lungo il tracciato, corrisponde un elevato livello tecnico-economico della strada.

Pertanto tale standard rappresenta un importante elemento di confronto nella scelta del tracciato definitivo della sede viaria.

3.2.3. Distanza di visuale libera

Altro aspetto non trascurabile per la sicurezza è riuscire a garantire per quanto possibile lungo il tracciato condizioni di visuale libera ottimale. È noto che il conducente di un veicolo per poter mantenere il mezzo nella giusta traiettoria in modo agevole e con ampio margine di sicurezza è necessario possa disporre davanti a sé di un tratto di visuale sufficientemente lungo: tale condizione dipende dalla velocità, dalla configurazione e dalla pendenza longitudinale della strada e dal tipo di carreggiata. Le norme italiane stabiliscono che la distanza di visuale libera D da assumere nella redazione del progetto di una strada corrisponda ai seguenti requisiti

- a) se l'arteria è a carreggiate separate la distanza libera D assume valori uguali almeno alla maggiore tra la distanza di arresto D_a e la distanza ridotta di sorpasso D_{rs} ,
- b) nelle strade formate da una sola carreggiata la distanza D è pari a D_a oppure a D_s , a seconda che sia consentito o meno il sorpasso.

3.2.4. Capacità delle strade

Si definisce capacità di una strada il massimo volume di traffico che transita nell'arteria con continuità a velocità differenti senza creare interferenze, e si determina con l'espressione

$$Q_n = n q_n \quad (\text{veicoli/h}) \quad 19)$$

in cui

n è il numero delle corsie,

q_n è la capacità oraria per corsia (veicoli/h).

Il valore q_n può determinarsi per via sperimentale o teorica. Il primo metodo consiste nell'eseguire opportuni rilevamenti in arterie esistenti di caratteristiche simili a quelle della strada in oggetto di studio. Per il calcolo teorico si fa invece riferimento alla formula del tipo

$$q_n = \frac{3600}{d} v w \quad 20)$$

in cui

v è la velocità di progetto in m/sec,

w un coefficiente di riduzione che dipende dal numero e dalla larghezza delle corsie, dalla composizione del traffico e dalla tortuosità del tracciato. Il valore medio correntemente assegnato è pari a $0,45 \div 0,50$,

d la distanza d'arresto o di fermata.

Assumere per la variabile d il valore D_a (distanza di visibilità di fermata) significa porsi nella condizione in cui ciascun veicolo inizia la frenata quando il mezzo che lo precede è già fermo, condizione che garantisce margini di sicurezza ottimali e da preferirsi a soluzioni meno rigorose sebbene si penalizzi così la capacità globale potenziale di traffico dell'arteria in progetto.

È opportuno segnalare che q_n assume valori numerici pari a qualche migliaia di veicoli e pertanto, soprattutto per le strade extraurbane, è preferibile avere un costo iniziale di impianto superiore con il beneficio di una o più corsie in soprannumero, piuttosto che apparenti e virtuali minori oneri d'investimento che comportano poi costi sociali superiori a causa del minor tasso di sicurezza e di efficienza conseguito.

4. ASPETTI FUNZIONALI E COMPOSITIVI DELLA PROGETTAZIONE STRADALE

Riguardano la funzionalità e la geometria dei singoli elementi che costituiscono l'arteria viaria, e ne determinano la configurazione e pertanto la sicurezza e l'affidabilità. Ai fini che interessano vengono in particolare esaminati gli aspetti compositivi e funzionali in relazione alla configurazione planimetrica ed altimetrica dell'asse della strada e di alcuni elementi fondamentali, quali i raccordi stradali, le intersezioni, le livellette.

4.1. I raccordi

Tra gli elementi più importanti che concorrono a classificare la qualità delle strade,

e sotto il profilo della sicurezza ed in relazione al comfort di guida, certamente una considerazione particolare deve essere rivolta ai raccordi. Più precisamente l'argomento riguarda la modalità con cui si collegano due o più tratti parziali dell'arteria in progetto: tronchi di rettilineo, o già di per sé curvilinei, possono essere infatti raccordati tra loro in modo diverso, mediante archi di circonferenza o curve di vario tipo. Anche dalle scelte effettuate per i raccordi deriva pertanto il grado di affidabilità, intesa in senso lato, delle strade.

I raccordi possono essere orizzontali e verticali, in linea con la definizione di strada, assimilata genericamente ad una spezzata mistilinea (fatto che giustifica la necessità di raccordarne i tratti) e tridimensionale, giacente cioè nello spazio.

4.1.1. Raccordi orizzontali

Possono eseguirsi in differenti modi: i più ricorrenti sono di tipo circolare, con curva esterna, progressivi, a spirale, di transizione.

a. Raccordi circolari

Sono ottenuti con archi di circonferenza e possono essere di tipo monocentrico, bicentrico, policentrico.

Il primo è particolarmente indicato per traffico lento ed è consigliabile limitarne l'uso alla viabilità rurale ed in genere alle strade di tipo secondario con velocità di progetto molto bassa. Il raccordo bicentrico è correntemente utilizzato nel caso si debbano raccordare tra loro tre tratti di rettilineo successivi di lunghezza eventualmente diversa. I raccordi a più centri sono invece utili quando si presentano in successione più tratti brevi di rettilineo formati fra loro angoli ottusi.

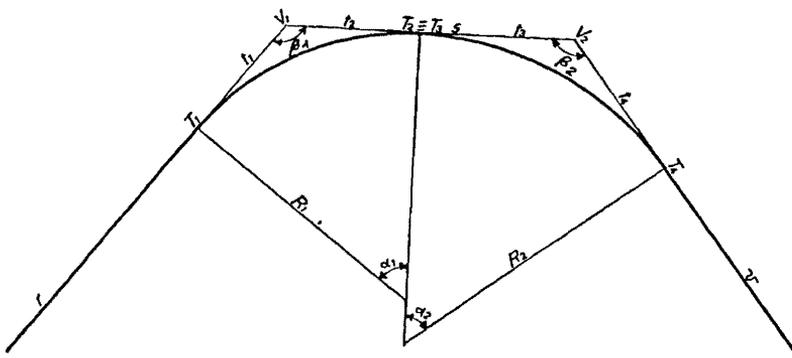


Fig. 17 - Raccordo bicentrico.
Bicentric connecting curve.

b. Raccordi con curva esterna

Sono raccordi circolari policentrici atipici, utilizzati spesso su strade di montagna o di alta collina. Sono chiamati anche tornanti e ricorrono nei casi in cui non sia possibile adottare altre soluzioni con curva interna: prevedono generalmente l'uso di tre curve, delle quali una in entrata, una intermedia ed infine una di uscita. Va ricordato anche il tornante asimmetrico, composto da due sole curve.

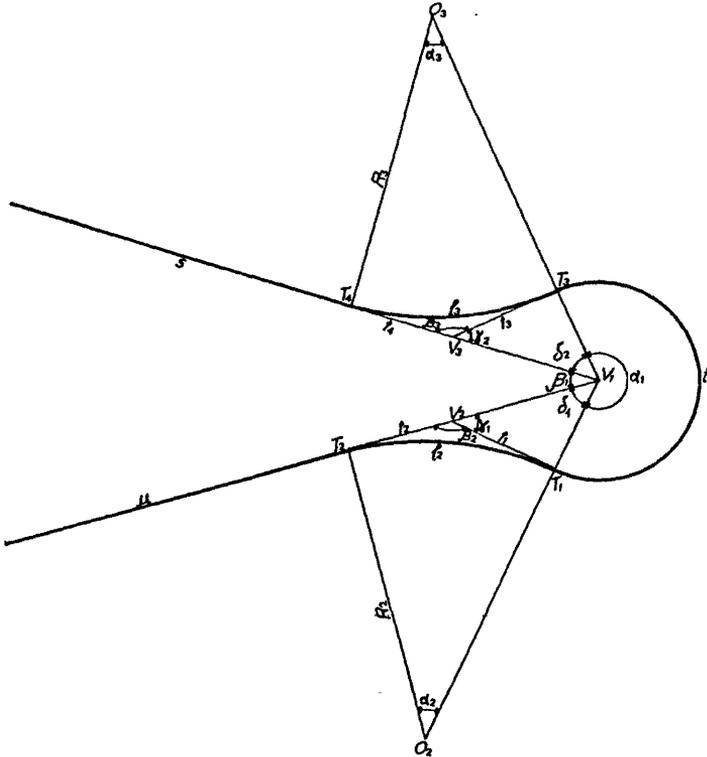


Fig. 18 - Raccordo con curva esterna o tornante.
External symmetrical hairpin bend.

c. Raccordi progressivi

Nell'affrontare una curva il veicolo percorre una traiettoria variabile, in genere diversa dall'asse viario, al quale il mezzo cerca quanto più di adeguarsi.

Per favorire e facilitare questo adeguamento si ricorre a curve di transizione che hanno lo scopo di moderare l'impatto tra il rettilineo e la curva circolare. Ciò soprattutto per maggior sicurezza di guida e per limitare i disagi al conducente ed ai passeggeri, dovuti alla forza centrifuga durante il brusco passaggio dal moto rettilineo a quello curvilineo.

d. Raccordi clotoidici

Tra i raccordi progressivi trova ampia applicazione il raccordo ad arco di clotoide, avente equazione parametrica

$$\frac{1}{\rho} = \frac{S}{A^2} \quad 21)$$

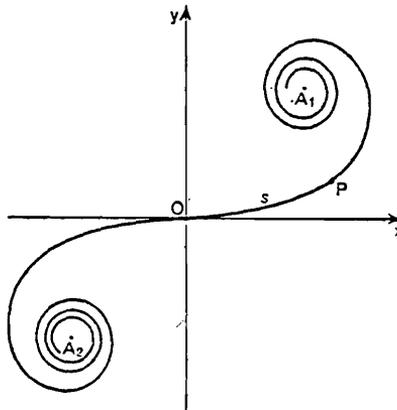


Fig. 19 - Clotoide o spirale di Cornu.
Description of clothoid.

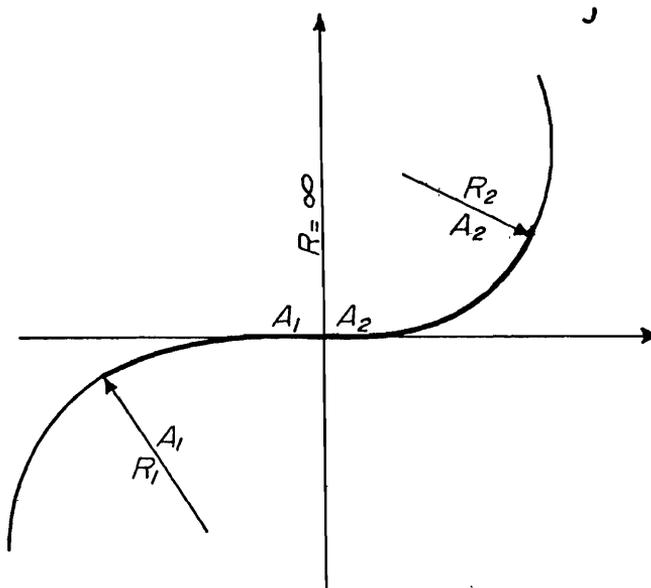


Fig. 20 - Raccordo di due tratti circolari con due archi di clotoide di parametri A_1 e A_2 diversi.
Connection of two circular road sections by two clothoid stretches having parameters A_1 and A_2 .

in cui ρ è il raggio di curvatura in un punto qualsiasi P, s lo sviluppo dell'arco considerato e A una costante caratteristica del raccordo. La clotoide è formata da una doppia spirale il cui tratto compreso tra il punto di flesso ed il punto in cui ρ uguaglia il raggio R dell'arco di circonferenza con la quale la clotoide si collega rappresenta proprio la parte di curva utilizzata per il raccordo. I dati numerici degli elementi di una generica clotoide si ottengono moltiplicando i valori tabellari della clotoide unitaria avente $A = 1$ per il parametro caratteristico A della clotoide in esame.

Si ricorda che $A = \sqrt{LR}$, in cui L rappresenta lo sviluppo del raccordo e R, come detto, il raggio della curva circolare con la quale la clotoide si raccorda.

Tale tipo di raccordo può avere inoltre configurazione più complessa ed essere formato dalla successione di due clotoidi aventi parametri A_1 e A_2 diversi, tra i cui valori è necessario siano rispettati rapporti ben definiti.

E precisamente

per $A_2 \leq 200$ m

$$A_1 \leq 1,5 A_2$$

per $A_2 > 200$ m

$$A_1 \leq 3 (A_2 - 100)$$

Per quanto attiene la determinazione degli altri elementi del raccordo con arco di clotoide, se ne omette la trattazione e per la complessità dell'argomento e per la limitata applicazione nelle strade di tipo secondario. Vale la pena comunque, seppure brevemente, ricordare gli effetti prodotti dall'inserimento dei raccordi di transizione ad arco di clotoide fra tratti di rettilineo e curve di tipo circolare, aspetto che determina sensibili spostamenti del tracciato originale. Nei metodi attuali di progettazione si fa uso di raccordi a raggio conservato, modalità che consente appunto di mantenere costante l'ampiezza R, nota la posizione dei rettifili da raccordare.

Quanto sopra consente di determinare l'angolo al centro, formato dai tratti in rettilineo, e le tangenti t_1 e t_2 nei punti di contatto, e di tracciare il raccordo circolare a raggio costante.

Occorre ora inserire tra quest'ultimo ed i rettifili i due raccordi simmetrici ad arco di clotoide aventi nel punto di contatto del rettilineo $\rho = \infty$ e nel punto di raccordo con la curva circolare $\rho = R$.

Si è ricordato che l'inserimento dei raccordi ad arco di clotoide determina uno spostamento del tracciato originale, individuato dai due punti di tangenza T_0 e T_{01} , non appartenenti ai rettifili ma rispettivamente a due rette «f» ed «s» parallele ai rettifili stessi e situate ad una distanza ΔR .

La soluzione grafica si ha con la traslazione parallela alla bisettrice VO dei punti di raccordo sino a quando T_0 e T_{01} si portano sui rettifili.

Sotto il profilo analitico, la soluzione è invece affidata alla determinazione degli spostamenti ΔR e ΔO , e delle distanze X_0 e X_1 in funzione degli angoli presenti. Un approfondimento maggiore dell'argomento viene rimandato a studi specifici e più puntuali.

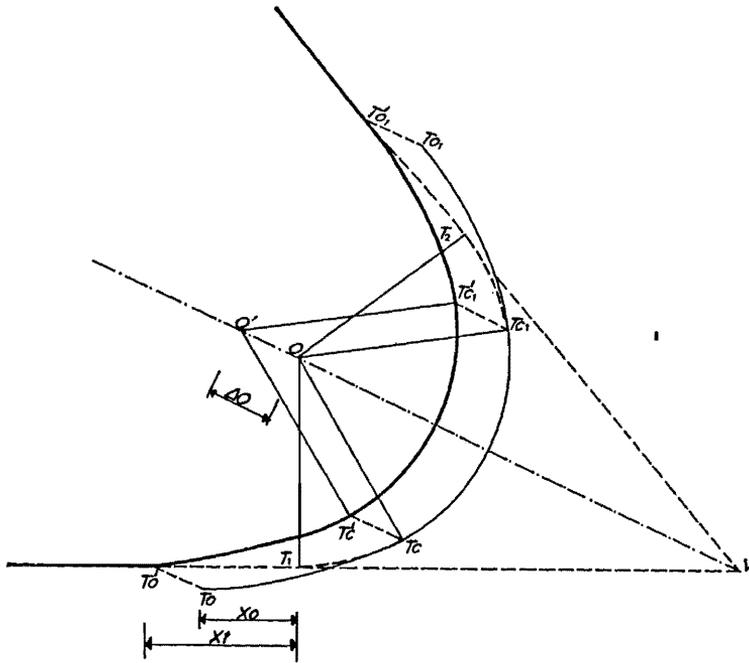


Fig. 21 - Spostamento del tracciato con inserimento di raccordo di clotoide a raggio conservato.
Entry using a clothoid arc and a fixed radius.

d. Raccordo mediante spirale di Searles

È simile alla clotoide, e consiste appunto in una spirale policentrica formata da

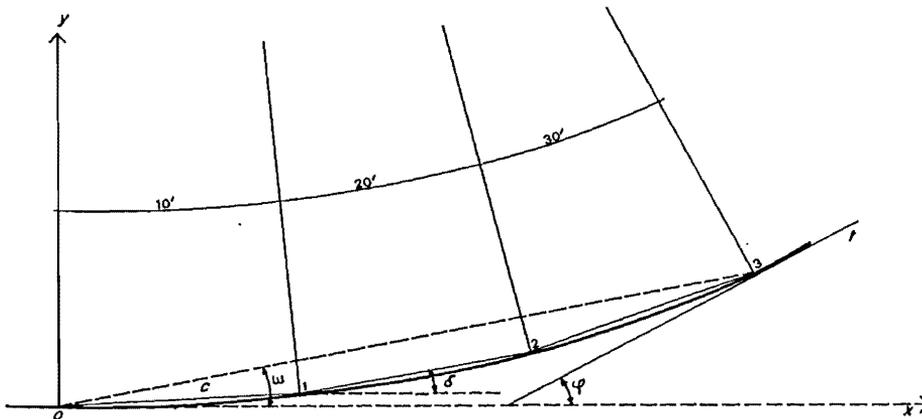


Fig. 22 - Spirale di Searles.
Searle's spiral.

archi a corda costante con angoli al centro crescenti progressivamente in ragione di 10'.

Elementi fondamentali della spirale di Searles sono l'angolo φ , formato dall'ascissa e dalla tangente alla curva in un punto, la corda C assunta pari a 100 piedi (30,48 m), l'angolo δ che ciascuna corda forma con l'asse delle X , l'angolo ω che l'ascissa di un punto forma con la congiungente l'origine ed il punto stesso.

Determinati i valori degli elementi citati (se ne rimanda il calcolo a studi più specifici), l'inserimento del raccordo a spirale di Searles avviene con le stesse modalità già ricordate per l'arco di clotoide.

4.1.2. Raccordi verticali

Sono eseguiti sul piano verticale passante per l'asse viario per mezzo di archi di cerchio, e possono essere distinti in concavi e convessi.

Si dice convesso il raccordo tra due livellette consecutive nelle quali la pendenza della prima è maggiore in valore relativo rispetto a quella della seconda. I raccordi sono invece detti concavi quando ad una livelletta in salita ne segue una con pendenza superiore, oppure ad una in discesa ne segue una di valore relativo maggiore.

Le caratteristiche geometriche minime da osservare per il loro dimensionamento sono finalizzate alla massima sicurezza.

Pertanto il raggio di curvatura e lo sviluppo del raccordo sono tali da garantire di note distanze di visibilità e d'arresto ottimali, e dipendono dall'altezza dei fari rispetto al piano stradale, dall'angolo formato dal fascio luminoso, dalla lunghezza delle livellette e talvolta dalle pendenze.

4.2. Allargamento in curva

È noto che un veicolo di «passo» lungo nel percorrere una curva di raggio relativamente piccolo, con le ruote anteriori descrive una curva diversa da quelle posteriori.

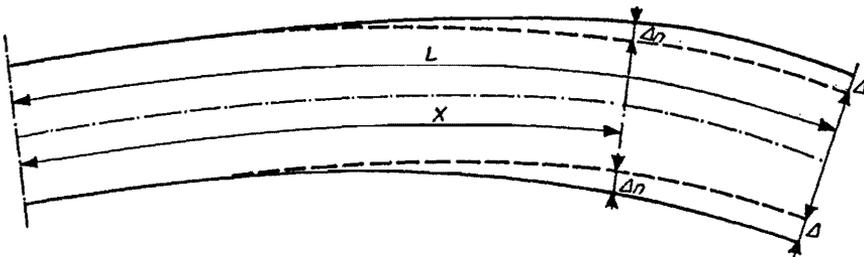


Fig. 23 - Raccordo di transizione con allargamento in curva. L , X , Δn sono le caratteristiche geometriche del raccordo.

An example of lane widening on a bend with a transition connecting curve.

Da ciò deriva la necessità di effettuare l'allargamento della curva per consentire gli stessi margini di ingombro utile della carreggiata. Tale allargamento è funzione del raggio di curvatura del tracciato e della lunghezza massima del mezzo, quest'ultima in particolare non sempre di facile determinazione.

Per una maggiore funzionalità della strada e per non dipendere dalle dimensioni del veicolo, che sono aleatorie e variabili, alcune norme del CNR consigliano allargamenti in funzione della tipologia di traffico e del raggio di curvatura.

La formula consigliata per singola corsia è

$$\Delta = \frac{k}{R} \quad (\text{m}) \quad 22)$$

in cui Δ è il valore dell'allargamento, k una costante che deriva dal numero di corsie e dalla qualità del traffico, ed R il raggio di curvatura medio della corsia.

Nel caso di raccordo con curva di transizione, l'allargamento in un generico punto vale

$$\Delta_n = \eta \Delta \quad (\text{m}) \quad 23)$$

in cui Δ_n è l'allargamento intermedio nel punto generico n^{mo} , Δ il valore finale dell'allargamento ed η un coefficiente funzione del rapporto X/L , nel quale L rappresenta lo sviluppo del raccordo di transizione ed X l'ascissa curvilinea del punto considerato.

I valori di η possono essere desunti dalla tabella 2.

Tab. 2

X/L	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
η	0,000	0,004	0,030	0,102	0,240	0,400	0,560	0,720	0,872	0,968	1,000

Vale la pena precisare che l'allargamento in curva non è un raccordo in senso proprio, ma può essere in qualche modo definito come raccordo atipico corretto. Ciò ne giustifica la trattazione, seppure breve e successiva all'argomento relativo ai raccordi.

4.3. Aree di sosta e di scambio

Nelle strade di tipo III, IV, V, VI ed A, quando non siano state previste le necessarie banchine con destinazione a sosta di emergenza, e necessario ricorrere ad aree specifiche opportunamente intervallate, poste a distanze non superiori a 1000 m, ed aventi dimensioni minime utili per il ricovero di 18 m \times 3 m, oltre ad una ulteriore disponibilità di spazio pari a 40 m per gli inviti di entrata e di uscita, previsti ciascuno nella misura di 20 m.

Dimensioni ridotte possono essere adottate per le aree di sosta realizzate nelle arterie stradali di classe inferiore.

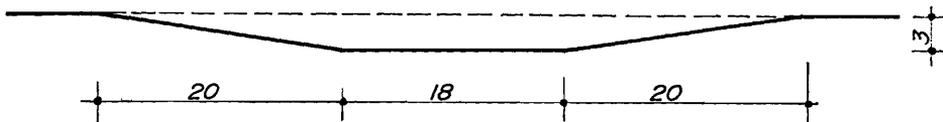


Fig. 24 - Area di scambio.
Changeover area.

In particolare per le strade di tipo C, le piazzole hanno soprattutto la funzione di garantire il traffico nei due sensi di marcia, e occorre siano inserite in modo tale da rispettare gli spazi e le distanze sopraindicate, e consentire inoltre con facilità gli scambi ai veicoli nei punti critici del tracciato.

4.4. Le intersezioni a raso

Anche le intersezioni sono importanti elementi delle strade, e ne qualificano l'affidabilità e la sicurezza: dalle soluzioni adottate per risolverne la configurazione deriva infatti la qualità ed il comfort delle arterie viarie.

Si definisce genericamente intersezione la superficie viabile comune a due o più strade non parallele che appunto si intersecano tra loro. Ai fini dello studio l'attenzione viene però limitata alle cosiddette intersezioni «a raso», vale a dire quegli apprestamenti predisposti ad una stessa quota per facilitare lungo i rami dell'intersezione i flussi veicolari che vi transitano. Per brevità se ne riassumono soltanto gli aspetti generali.

Questo tipo di incrocio a livello è molto diffuso e presenta costi di realizzazione sufficientemente contenuti, ma è affidabile soltanto per volumi di traffico non veloci e limitati in intensità.

Per migliorare le condizioni di deflusso del traffico, a seconda della pericolosità dei punti di conflitto vengono adottate soluzioni geometriche diverse allo scopo di creare spazi di manovra separati dai flussi principali, quali aree spartitraffico e corsie particolari.

In relazione ai criteri compositivi da seguire per studiare la geometria delle intersezioni è necessario prioritariamente stabilire l'asse stradale prevalente in funzione del volume di traffico e della velocità di progetto delle arterie che si intersecano. Ciò consente di determinare il campo di visibilità ottimale e la posizione dei punti di conflitto, tenuto conto delle distanze di arresto e di sorpasso dei veicoli. A tal fine contribuiscono i triangoli di visibilità agli incroci, che se correttamente dimensionati consentono la visuale reciproca ai due mezzi le cui traiettorie si apprestano ad entrare in conflitto.

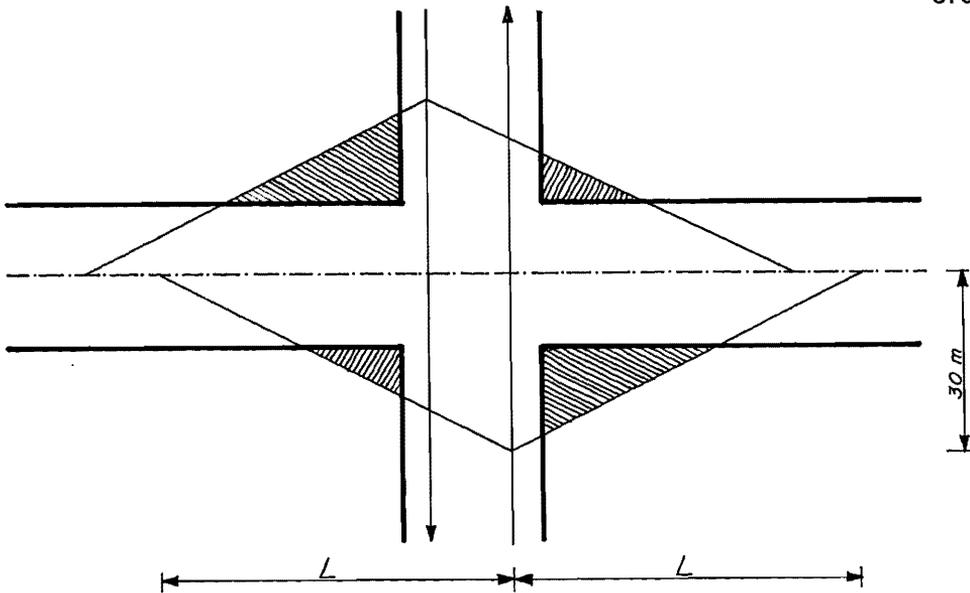


Fig. 25 - Triangoli di visibilità regolati dal segnale «dare precedenza».
Visual triangles with a "give way" sign.

Ciò a seconda che l'intersezione a raso sia libera o regolamentata dai segnali stradali di «Stop» e «dare precedenza» oppure che sia risolta con soluzioni più articolate e complesse, oppure ancora dotata o meno di impianto semaforico.

Nei vari casi i lati dei triangoli di visibilità sono in relazione alla velocità di progetto prevista per la strada principale.

Tabelle e abachi proposti dal CNR facilitano la determinazione degli elementi essenziali, in particolare la dimensione del lato dei triangoli di visibilità.

Tali norme classificano le intersezioni extraurbane in quattro categorie generali:

a) intersezioni di tipo I

Sono le più semplici, consigliate per strade secondarie, e possono essere realizzate con segnaletica orizzontale o con isole direzionali «a goccia». Le prime sono ammesse per incroci a tre braccia, le seconde sono da preferirsi per intersezioni a quattro rami: comunque è bene non siano utilizzate se nell'arteria principale sono previste le corsie per la svolta a sinistra.

b) intersezioni di tipo II

Sono idonee per regolamentare appunto la svolta a sinistra dalle strade principali a quelle secondarie: la configurazione più corretta prevede in queste ultime l'isola divisionale a goccia, mentre nelle prime lo svincolo viene risolto con corsie specializzate di svolta «protette» anteriormente da spazi non transitabili, delimitati da bordi rialzati o da segnaletica orizzontale.

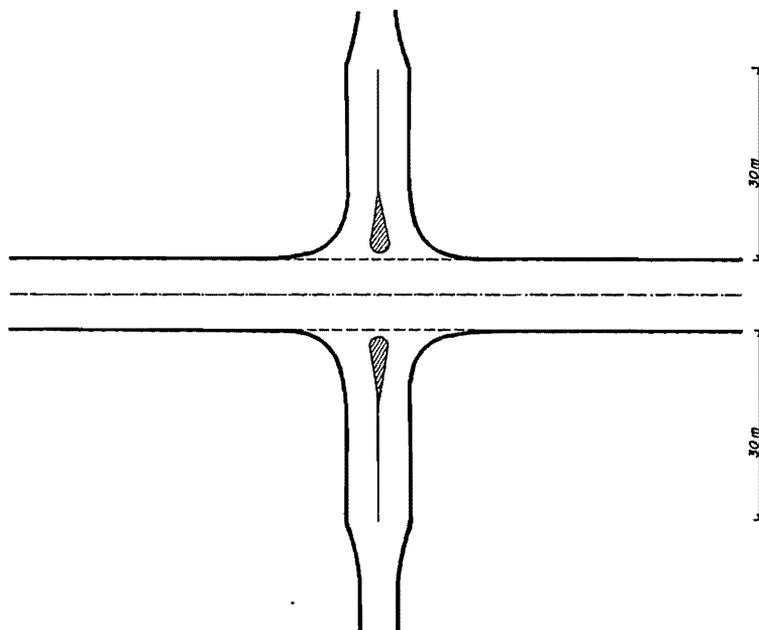


Fig. 26 - Incrocio con isola divisionale «a goccia».
Cross-roads with a drop shaped island.

c) intersezioni di tipo III

Sono regolamentate da impianto semaforico, e ammesse in arterie importanti con piattaforma indipendente a due corsie per le quali non è possibile realizzare intersezioni a livelli diversi, queste ultime più opportune perché più sicure e più funzionali.

d) intersezioni di tipo IV

Sono a sistema rotatorio, consigliate quando si vuole canalizzare in punti ben precisi la manovra di intersezione o di inversione, oppure quando confluiscono nello stesso punto più arterie tutte di classe superiore, oppure ancora in alternativa all'impianto semaforico.

Va anche segnalata la necessità di ricorrere a corsie di svolta a sinistra, e a destra, e di accelerazione e decelerazione: infatti l'inserimento di corsie specializzate è anch'esso elemento importante delle intersezioni, perché finalizzato a conferire maggiore affidabilità e sicurezza al tracciato. Certamente quella meritevole di maggiore attenzione è la corsia per la svolta a sinistra, perché intercetta il flusso di traffico proveniente in senso opposto ed ha la funzione di convogliare i veicoli che svoltano senza ostacolare chi procede dritto o svolta a destra. La lunghezza utile di tale

tipo di corsia è dimensionata in modo da prevedere, in senso longitudinale, spazi di immissione, di frenata e di accumulo sufficienti ai mezzi che devono svoltare a sinistra.

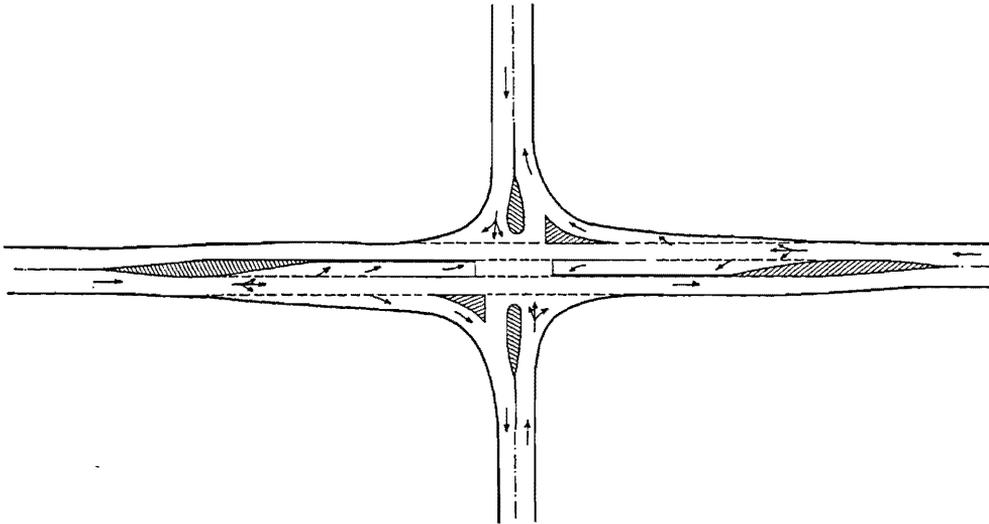


Fig. 27 - Intersezione a quattro braccia senza corsie di accelerazione e decelerazione.
A cross-roads without acceleration and deceleration lanes.

In uscita dalle strade principali, quando la velocità caratteristica è superiore a 80 km/h, occorre prevedere la corsia per svolta a destra: elementi geometrici importanti sono la lunghezza e l'allargamento dei tronchi di manovra e di decelerazione lungo lo sviluppo del raccordo.

Allo stesso modo, se la velocità caratteristica del raccordo supera i 60 km/h, l'inserimento di veicoli provenienti dalla strada secondaria su quella principale avviene mediante corsia di accelerazione, organizzata generalmente in due tratti, l'uno per l'accelerazione, l'altro per la manovra.

La scelta dell'intersezione più idonea dipende dalle situazioni che si presentano di volta in volta, ma condizione irrinunciabile e primaria è senza dubbio la sicurezza del tracciato, che certamente deve essere privilegiata in assoluto.

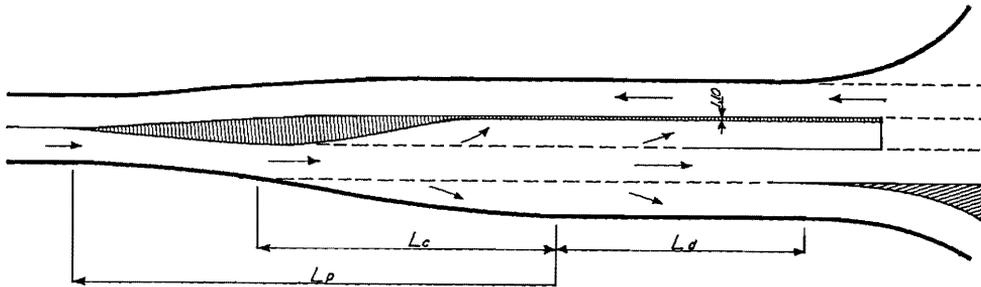


Fig. 28 - Inserimento di corsia per svolta a destra, con L_p , L_c , L_d lunghezze caratteristiche di raccordo, di cambio di corsia e di decelerazione.
A filter lane for turning right.

4.5. Richiami sulle livellette stradali

4.5.1. Generalità.

Per semplicità di esposizione è opportuno preliminarmente ricordare alcuni aspetti generali relativi all'argomento.

Anzitutto si definisce «livelletta» il segmento di pendenza costante che congiunge due o più punti disposti in successione lungo il profilo stradale. Si ricorda anche che le pendenze delle strade ordinarie vengono sempre espresse in valori percentuali; inoltre vengono chiamate assolute le quote riferite al livello medio del mare (s.l.m.).

Gli elementi delle livellette, soprattutto la pendenza e la lunghezza, concorrono anch'essi a caratterizzare la qualità del profilo stradale, e pertanto l'affidabilità ed il comfort lungo il tracciato.

Altro aspetto importante è la risoluzione del passaggio da una livelletta a quella successiva, che si esegue come ricordato mediante raccordi verticali cilindrici a generatrici orizzontali, aventi per direttrice una circonferenza di raggio molto grande allo scopo di evitare brusche variazioni di pendenza che possono generare nei veicoli in transito movimenti anomali e pericolosi.

Caratteristiche peculiari delle livellette sono tra l'altro in particolare il calcolo della pendenza, l'eventuale punto di passaggio tra parti di profilo non omogenee, il punto di incontro tra due livellette successive, le aree di compenso.

4.5.2. Calcolo delle livellette

Attraverso l'elaborazione dei dati estrapolati dalle carte o rilevati in campagna nel caso si tratti di progetto esecutivo si procede alla rappresentazione del profilo longitudinale del terreno su un elaborato grafico che costituirà riferimento e supporto

di base per lo studio delle livellette di progetto.

Indicando con Q_t le quote assolute del terreno (quote nere), con Q_p le quote di progetto (quote rosse), con i la pendenza della livelletta, con Δ_{ab} il dislivello e con d la distanza tra i due punti presi a riferimento, sembra utile richiamare le seguenti relazioni fondamentali

$$\Delta_{ab} = Q_b - Q_a \quad (24)$$

$$Q_b = Q_a + \Delta_{ab} \quad (25)$$

$$\Delta_{ab} = i d \quad (26)$$

$$i = \frac{\Delta_{ab}}{d} \quad (27)$$

$$d = \frac{\Delta_{ab}}{i} \quad (28)$$

La quota Q_p può essere $\neq Q_t$: se $Q_p > Q_t$ si ha un'ordinata positiva, il suo valore si trascrive al di sopra del profilo di progetto e significa che in quel punto la strada è in riporto. Se $Q_p < Q_t$ l'ordinata è negativa: il valore si riporta al di sotto del profilo di progetto e significa che in quel punto la strada è in trincea.

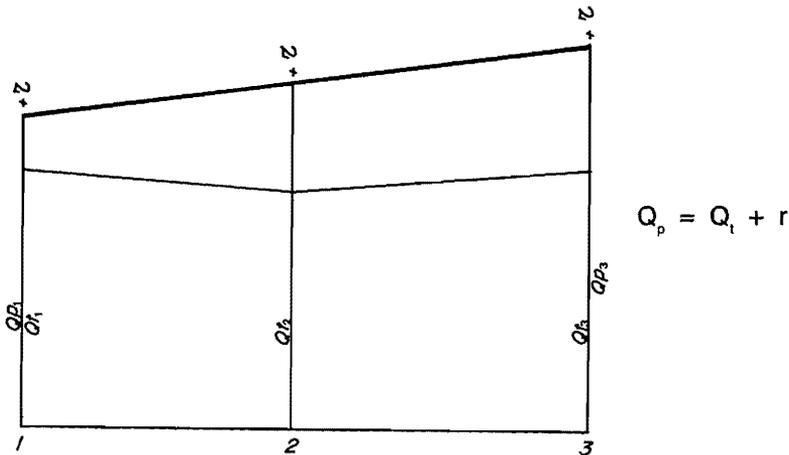


Fig. 29 - Livellotta di riporto.
Gradient of embankment.

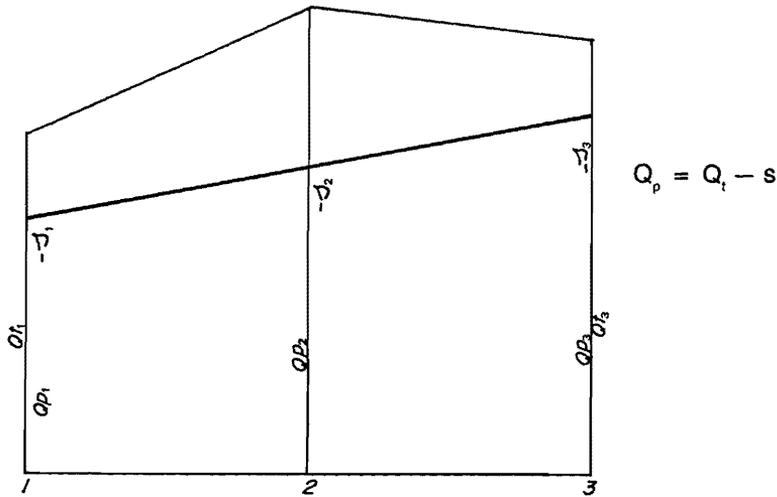


Fig. 30 - Livelletta di sterro.
Gradient of excavation.

4.5.3. Punto di passaggio tra sterro e riporto

Se tra due punti consecutivi, contrassegnati dai rispettivi picchetti, la livelletta di progetto fuoriesce dal terreno o si compenetra in esso, significa che vi è un passaggio da un tratto in riporto a un tratto in trincea o viceversa.

Determinare esattamente il punto di passaggio così come definito è di fondamentale importanza sia nella fase progettuale, soprattutto per il calcolo dei volumi come si dirà più avanti, sia nella fase di realizzazione perché è in quel punto che si considera l'avvio delle operazioni di scavo o di deposito dei materiali di riporto.

Ricordando che in due triangoli simili le altezze stanno fra loro come le rispettive basi, e considerando in fig. 31 le basi r e s e le altezze corrispondenti d_r e d_s si ottiene

$$d_r : d_s = r : s$$

da cui applicando la regola del componendo

$$d_r : (d_r + d_s) = r : (r + s)$$

$$d_s : (d_r + d_s) = s : (r + s)$$

ed essendo

$$(d_r + d_s) = d$$

si ricava

$$\frac{d_r}{d} = \frac{r}{r + s} \quad \frac{d_s}{d} = \frac{s}{r + s}$$

e risolvendo rispetto a d_r e d_s

$$d_r = \frac{r}{r+s} d \qquad d_s = \frac{s}{r+s} d \qquad 29) \ 29')$$

Analogo problema si presenta, oltre che nel profilo longitudinale, anche nelle sezioni trasversali per le quali, considerata la semplicità di estensione del calcolo, se ne trascurava la citazione.

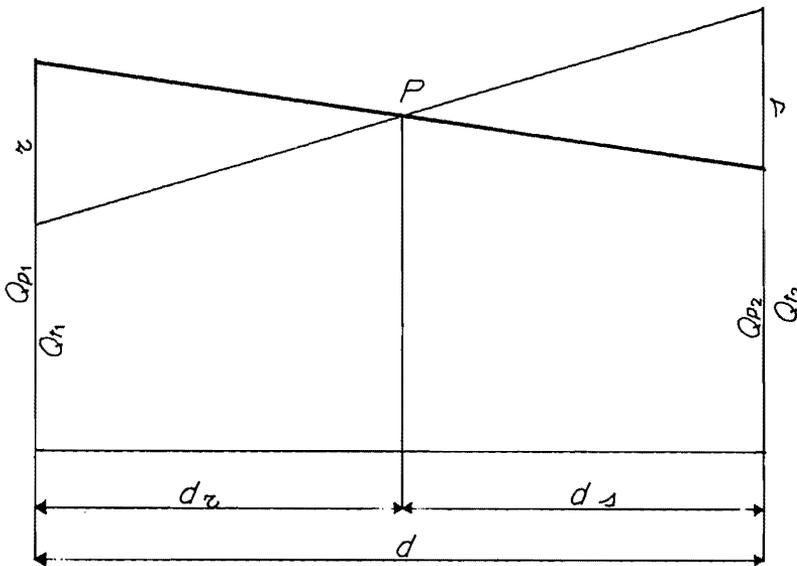


Fig. 31 - Livelletta con punto di passaggio.
Gradient with easement point.

4.5.4. Punto d'incontro di due livellette

Il calcolo proposto è duplice : a) le due livellette possono avere il punto iniziale sulla stessa ordinata e incontrarsi in un punto P in conseguenza di due pendenze dello stesso segno ma di diverso valore assoluto, b) le livellette hanno origine da due ordinate diverse, ed in questo caso le pendenze possono differire in valore assoluto e segno.

a) Livellette uscenti dalla stessa ordinata.

Note nel punto A le quote Q_1 e Q_2 delle due livellette di pendenza rispettiva i_1 e i_2 , è necessario determinare la distanza d rispetto all'origine A del punto d'incontro P.

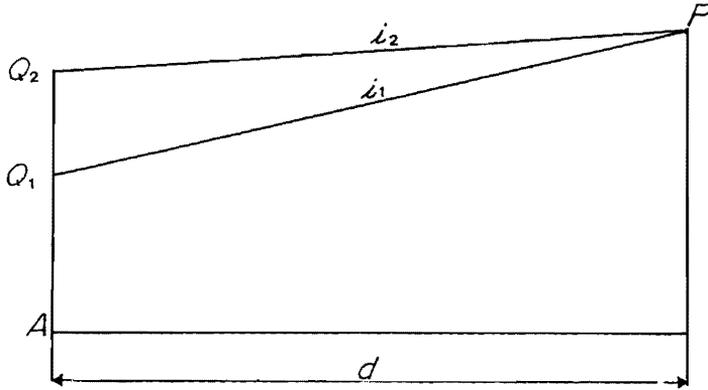


Fig. 32 - Incontro di due livellette uscenti dalla stessa ordinata.
Meeting of two gradients coming from the same ordinate.

Per quanto detto in precedenza

$$Q_p = Q_1 + i_1 d$$

$$Q_p = Q_2 + i_2 d$$

da cui uguagliando le due espressioni

$$Q_2 + i_2 d = Q_1 + i_1 d$$

e sapendo che $Q_2 - Q_1 = r$ risolvendo rispetto all'incognita d si ottiene

$$d = \frac{r}{i_1 - i_2} \quad 30)$$

b) Livellette uscenti da ordinate diverse.

Si vuole ora determinare la posizione di un punto P in cui si incontrano due livellette, di pendenze diverse i_1 e i_2 , con $i_1 \neq i_2$ ed entrambe positive, uscenti rispettivamente dal punto A di quota Q_1 e dal punto B , distante D da A , con quota Q_2 .

Prolungando le due livellette sino ai punti opposti A'' e B'' e tracciando per il punto P la orizzontale normale alle verticali PP' sino ai punti M e N , si ottengono i due triangoli rettangoli PMA e PMA'' , per i quali si ricava

$$MA = d_1 i_1 \quad \text{e} \quad MA'' = d_1 i_2$$

sottraendo membro a membro nelle due espressioni risulta

$$MA - MA'' = m = d_1 i_1 - d_1 i_2$$

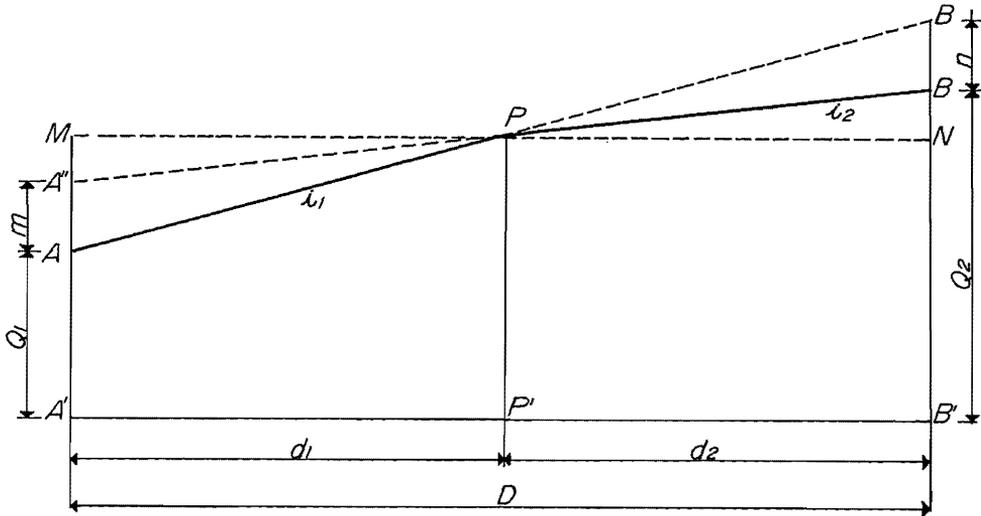


Fig. 33 - Incontro di due livellette uscenti da ordinata diversa ed aventi pendenze diverse ma dello stesso segno.
Meeting of two gradients coming from different ordinates and having different slopes but the same direction.

e infine risolvendo rispetto a d_1

$$d_1 = \frac{m}{i_1 - i_2} \quad (31)$$

Analoghe considerazioni si possono fare per i triangoli PBN' e PBN''. Se le pendenze sono di segno contrario come in figura

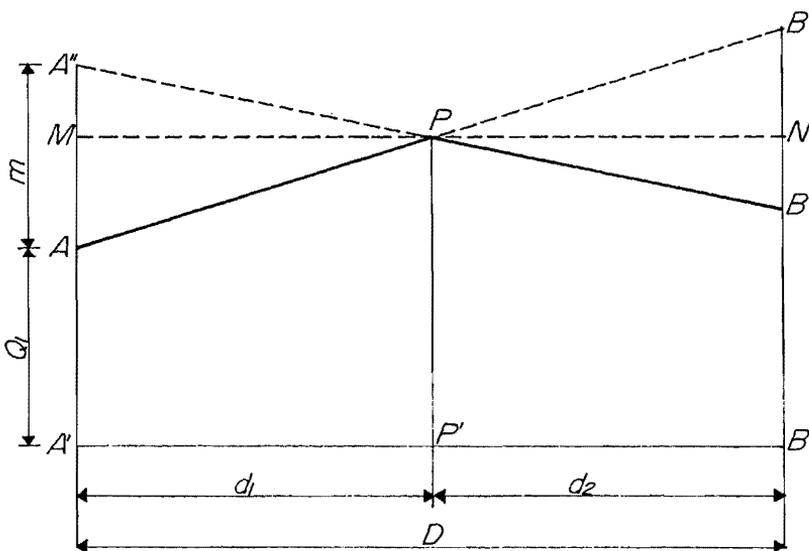


Fig. 34 - Incontro di due livellette uscenti da ordinate diverse ed aventi pendenze di segno contrario.
Meeting of two gradients coming from different ordinates and having different slopes in opposite directions.

il segmento m , per quanto detto, è uguale a

$$m = MA + MA'' = d_1 i_1 + d_1 i_2$$

da cui
$$d_1 = \frac{m}{i_1 + i_2} \quad 32)$$

Allo stesso risultato si perviene operando algebricamente con le pendenze, e pertanto l'espressione 32) può essere generalizzata in maniera estensiva.

4.5.5. Livellette di compenso

Si ha livelletta di compenso quando questa genera equivalenza tra la somma delle superfici di sterro e la somma delle superfici di riporto lungo il profilo longitudinale. Al compenso delle aree di raro corrisponde anche un compenso dei volumi, poiché questi ultimi dipendono anche dall'andamento trasversale del terreno.

Tale procedimento, nonostante la sua laboriosità, trova comunque pratica applicazione quando si studiano livellette di progetto per tracciati che attraversano terreni poco accidentati.

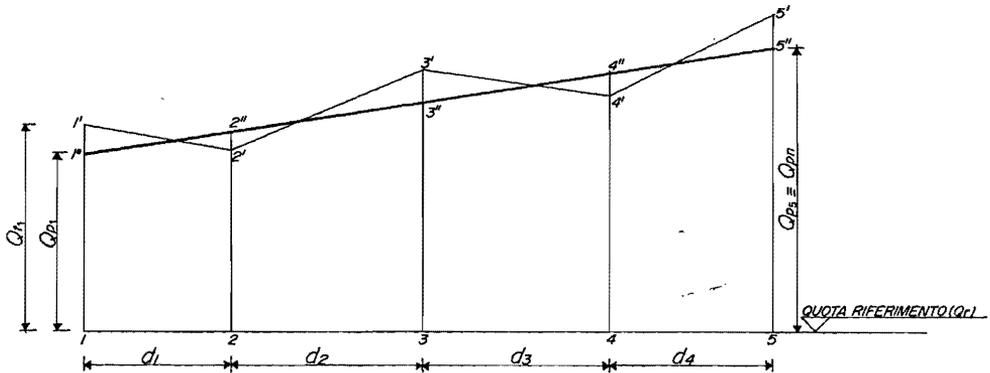


Fig. 35 - Livelletta di compenso.
Compensating gradient.

Si ricorda che

$$Q_{t1} = Q_r + |l'| + \dots + Q_{t5} = Q_r + 5-5'$$

$$Q_{p1} = Q_{t1} + |l''| + \dots + Q_{p5} = Q_{t5} + 5'-5''$$

Le relazioni di calcolo si impostano tenendo conto della seguente uguaglianza

$$2S = (Q_{t1} + Q_{t2}) d_1 + \dots + (Q_{t_{n-1}} - Q_{t_n}) d_{n-1} = (Q_{t1} + Q_{pn}) D$$

in cui $d_1, d_2 \dots d_n$ rappresentano le distanze parziali tra due punti successivi e contigui e D la distanza totale pari alla somma delle distanze parziali

$$d_1 + d_2 + \dots + d_n.$$

Utilizzando le quote Q_t e le distanze d note, si calcola la doppia superficie e successivamente, conosciuta la quota iniziale di progetto, si determina la quota d'arrivo della livelletta con la formula

$$Q_{pn} = \frac{2S}{D} - Q_{p1} \quad (33)$$

Ricavata così Q_{pn} è ora possibile, per mezzo delle relazioni introdotte in precedenza, calcolare i dislivelli parziali che, sommati alla Q_p precedente, danno la Q_p nel punto considerato. La livelletta di compenso si può determinare, oltre che per il caso esposto, anche quando è già nota a priori la pendenza.

Per la limitata applicazione pratica del procedimento se ne traslascia la trattazione.

8. CONSIDERAZIONI FINALI

Certamente lo studio non considera tutti gli argomenti che intervengono nella progettazione delle arterie viarie, nè ne sviluppa in maniera esauriente ogni aspetto tecnico preso a riferimento. Si limita a richiamare alcuni importanti temi relativi in particolare alla dinamica dei veicoli in movimento, alla geometria della strada, ad una parte degli apprestamenti plano-altimetrici che riguardano la configurazione del tracciato.

Restano senza dubbio da esaminare diversi altri aspetti meritevoli di attenzione, in relazione soprattutto alla parte topografica, ai manufatti stradali necessari, ad altro ancora: insomma all'intero sviluppo organico del progetto di una strada, considerato nel suo insieme.

Nel presente studio, si è infatti presa a riferimento soprattutto la fase di approccio al problema, e si sono affrontati in parte gli aspetti che consentono di avviare il processo progettuale iniziale. Altri argomenti riguardano invece la configurazione geometrica di alcuni elementi delle strade.

Sembra utile infine ricordare che, pur non essendovi canoni rigorosi in assoluto da rispettare, le scelte fatte preliminarmente sono importanti per il risultato finale: nel determinarle vale certamente la preparazione, la professionalità e l'esperienza dei progettisti, ma senza dubbio un ruolo rilevante va riconosciuto alla sensibilità e alla cultura di quanti in qualche modo contribuiscono all'elaborazione del progetto.

Un'impostazione soltanto tecnica del problema darà certamente risultati ottimali quanto a sicurezza e comfort, ma va sottolineato che gli eccessi tecnicistici, se disgiunti dal buon senso e dal buon gusto, portano talvolta a danni ambientali e funzionali spesso irrimediabili.

BIBLIOGRAFIA

- AGOSTINI A., 1983 - Nuovo corso di Topografia — Vol. III, Hoepli.
Bollettino Ufficiale del CNR n. 31 del 28-03-83.
- FERRARI P., GIANNI F., 1983 - Geometria e progetto di strade — Vol. I, A. Mondadori.
- BONFIGLI C., SOLAINI L., 1982 - Trattato di Topografia — Vol. III, Le Monier Firenze.
- ORMEA G.B., 1982 - Teoria e pratica nelle costruzioni — Vol. III, Hoepli.
- MONARDO L., 1981 - Pianificazione e tecnica delle infrastrutture stradali - Università di Roma. Facoltà di Architettura.
Bollettino Ufficiale del CNR n. 78 del 28.07.80.
- RESNICK R., HALLIDAY D., 1979 - Fisica — Vol. I, Ambrosiana. Milano.
- TESORIERE G., 1973 - Strade ferrovie aeroporti — Vol. I, UTET. Torino.
- BOAGA G., 1972 - Disegno di strade - Officina Edizione. Roma.
- DRAGONETTI, PROCINO, ROSSI - Topografia e disegno topografico - A.P.E. Mursia.