

BIBLIOTECA

Progettazione e Manutenzione delle Infrastrutture viarie e relative Norme tecniche: Criteri geometrici e funzionali

Introduzione

Benvenuti!

In questa video lezione parleremo in termini generali dei criteri geometrici e funzionali per la progettazione stradale. Gli obiettivi che ci poniamo sono:

- conoscere i contenuti salienti della normativa tecnica quale il D.M. 05.11.2001
- conoscere gli aspetti tecnici della progettazione stradale
- comprendere seppur sinteticamente l'iter iterativo della progettazione di una strada

Nel corso della lezione affronteremo alcuni temi e principi cardine utili a comprendere meglio l'argomento, che per semplicità di lettura sono suddivisi in:

- Geometria dell'asse stradale
- Organizzazione della sede stradale
- Iter della stesura di un progetto stradale

Geometria dell'asse stradale

Cominciamo con fornire i riferimenti normativi che stabiliscono gli aspetti tecnici della progettazione. La norma principe che stabilisce i dettami da seguire è il **Decreto Ministeriale n. 6792 del 05.11.2001** per gli aspetti geometrici e funzionali delle strade. Inoltre vedremo che sarà di supporto anche il Decreto Ministeriale del 19.04.2006, "Norme funzionali e Geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali".

Per iniziare con i concetti chiave non si può prescindere dalla definizione esatta di **strada**: l'area ad uso pubblico destinata alla circolazione dei pedoni, veicoli e animali. Il Decreto fissa come dato di input la domanda di trasporto, individuata dal volume di traffico, dalla sua composizione e dalla velocità media di deflusso, che determina tutte le scelte progettuali, tra cui la sezione stradale e l'intervallo della velocità di progetto. Resta inteso che per interventi su strade già esistenti, le norme rappresentano un riferimento a cui tendere, per quanto possibile, le caratteristiche geometriche delle stesse, in modo da soddisfare nella maniera migliore le esigenze della circolazione. Come per i criteri generali, il Decreto stabilisce al suo interno la **Classificazione tecnico-funzionale**, uno dei concetti chiave ripreso anche da altre normative molto specifiche e relative ad aspetti di dettaglio. Ai sensi del D.M. 05.11.2001 le strade sono

suddivise in funzione del contesto, se fuori o dentro il centro abitato. Nello specifico le strade extraurbane sono classificate come:

- Tipo A - Autostrade
- Tipo B – Extr. principali
- Tipo C – Extr. Secondarie
- Tipo F – Extr. locali

Per quanto riguarda le strade urbane, si distinguono in:

- Tipo A - Autostrade (es. G.R.A.)
- Tipo D – Urb. di Scorrimento
- Tipo E – Urb. di quartiere
- Tipo F – Urb. locali

Sulla scorta di tale classificazione il D.M. 2001 sancisce le categorie di traffico ammesse: resta inteso che su viabilità importanti quali autostrade o extraurbane principali, non sia consentito il transito di alcune categorie di traffico quali i pedoni, ciclomotori, macchine operatrici.

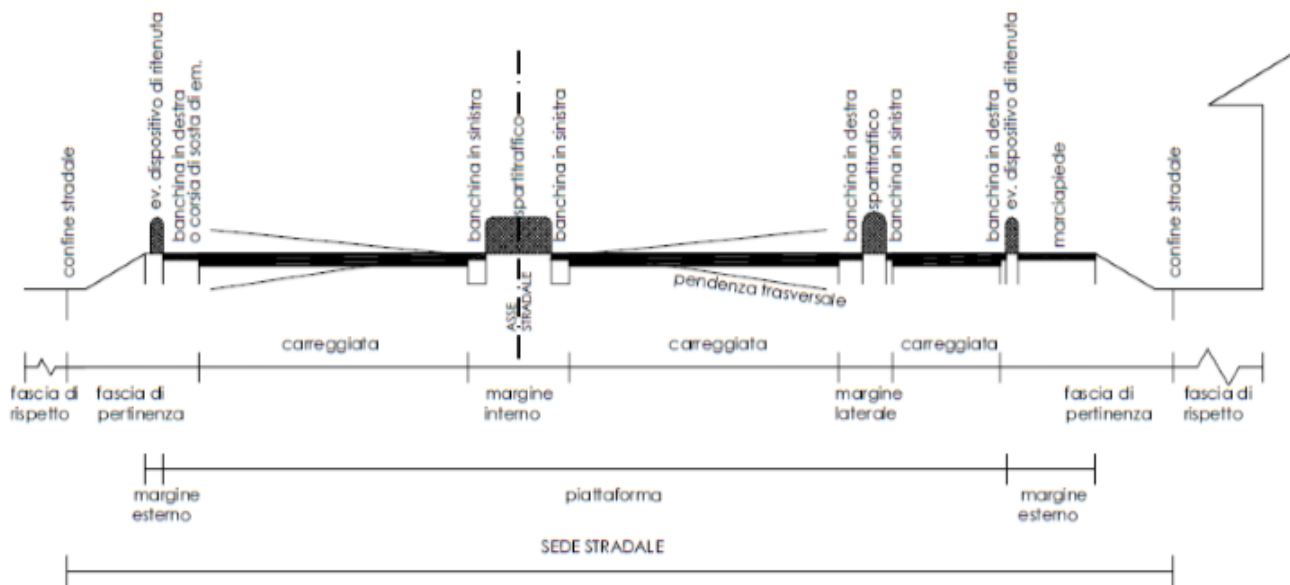
In termini funzionali, il sistema globale di infrastrutture stradali può essere suddiviso in un insieme integrato di reti distinte, caratterizzate dal punto di vista funzionale dalla funzione assoluta nel contesto territoriale.

Per ogni tipo di strada il DM 2001 definisce nei minimi dettagli i seguenti aspetti:

- la composizione possibile della carreggiata
- i limiti dell'intervallo di velocità di progetto
- le dimensioni da assegnare ai singoli elementi modulari
- i flussi massimi smaltibili per i livelli di servizio indicati

Un concetto chiave per la progettazione è proprio il Livello di servizio, inteso come una misura della qualità della circolazione in corrispondenza di un flusso assegnato (in termini di oneri monetari del viaggio, tempo speso, stress fisico e psicologico).

Nell'immagine di seguito si illustrano tutti gli **elementi costitutivi** della sede stradale: particolare importanza è rivestita dalla carreggiata, che comprende le corsie e banchine ed è destinata al transito dei veicoli, il margine interno ed esterno, i confini, le fasce di pertinenza e di rispetto.



Sempre in riferimento agli aspetti geometrici, tratteremo ora la composizione geometrica di un asse stradale: essa è costituita da un andamento planimetrico ed un andamento altimetrico. In particolare l'asse planimetrico si può comporre di rettifili, curve circolari e curve di transizione (chiamate clotoidi, che vengono interposte tra il rettilo e la curva circolare o tra due curve circolari per garantire una gradualità di passaggio di elementi geometrici al guidatore). Per quanto riguarda l'andamento altimetrico si prevedono livellette e raccordi verticali (di collegamento tra livellette).

Principio fondamentale per la progettazione è che gli elementi geometrici devono essere riferiti **all'intervallo di velocità di progetto**.

Nello specifico dell'andamento planimetrico vediamo cosa viene previsto dalla norma per i **rettifili**. Innanzitutto, va rispettata una lunghezza massima, al fine di ridurre la monotonia, la difficile valutazione delle distanze e l'abbagliamento nella condizione notturna. Questa si calcola con la formula $L = 22 \times V_p \text{ max}$ (lunghezza in metri e velocità di progetto in km/h). Inoltre, esiste una lunghezza minima, per garantire la corretta percezione all'utenza del tratto in rettilineo. Questa è funzione della velocità desunta dal diagramma di Velocità.

Per quanto riguarda le **curve circolari**, anch'esse devono rispettare uno sviluppo minimo, corrispondente a un tempo di percorrenza di almeno 2,5 sec. Inoltre viene imposto il Raggio planimetrico minimo da adottare, anch'esso funzione della velocità di progetto oltre che della categoria di strada. Oltre a ciò è strettamente correlato alla lunghezza del rettilineo che precede la curva. In particolare il raggio deve essere:

$R > L_r$ (se $L_r < 300\text{m}$)

$R \geq 400\text{m}$ (se $L_r \geq 300\text{m}$)

Con L_r denominata lunghezza di riferimento, per il quale si ha la percezione della curva successiva.

Sempre per le curve circolari, il D.M. stabilisce la pendenza trasversale da adottare, in funzione del raggio inserito e del tipo di strada: esiste una pendenza massima per la curva (intesa come inclinazione della strada per ovviare alla forza centrifuga in curva).

Un altro aspetto molto specifico e caratteristico della progettazione stradale è relativo alle **clotoidi**, cioè quelle curve a raggio variabile (racordi di transizione) che servono a garantire:

- il contenimento della variazione di accelerazione centrifuga non compensata (contraccollo)
- una limitazione della pendenza longitudinale delle linee di estremità della piattaforma
- la percezione ottica corretta del tracciato

A livello grafico, tale curva appartiene alla famiglia delle spirali e viene definita dall'equazione:

$$r \times s = A^2$$

dove:

- r è il raggio
- s è l'ascissa curvilinea
- A è il parametro di scala

La costruzione geometrica della clotoide dipende dagli angoli di deviazione ed altri criteri che influiscono sul parametro A , ovvero:

- Criterio Contraccollo, per ridurre l'accelerazione trasversale non compensata (esiste la formulazione esatta e approssimata per stabilire il valore minimo di A)
- Criterio della pendenza dei cigli, per raccordare la sovrappendenza della carreggiata stradale (cigli del pavimentato)
- Criterio ottico, per la corretta percezione del raccordo (funzione del Raggio)

La scelta delle opportune curve sia circolari, che di transizione comporta inoltre alcune verifiche relative alla transitabilità in curva: queste sono l'iscrizione del veicolo e la visibilità.

La verifica di iscrizione del veicolo in curva si effettua per conservare i necessari franchi fra la sagoma limite dei veicoli ed i margini delle corsie, in modo da garantire il transito in particolare dei mezzi pesanti.

La verifica di Visibilità per l'arresto e il sorpasso è un aspetto per cui vale la pena fare un approfondimento. Per "distanza di visuale libera" si intende la lunghezza del tratto di strada che il conducente riesce a vedere davanti a sé senza considerare l'influenza del traffico, delle condizioni atmosferiche e di illuminazione della strada. Tale distanza deve essere maggiore della distanza per l'arresto, per il sorpasso e per il cambiamento di corsia. Nello specifico si definiscono:

- Distanza **per l'arresto**, lo spazio minimo necessario perché un conducente possa arrestare il veicolo in condizione di sicurezza davanti ad un ostacolo imprevisto
- Distanza **per il sorpasso**, lo spazio occorrente per compiere una manovra di completo sorpasso in sicurezza, quando non si possa escludere l'arrivo di un veicolo in senso opposto
- Distanza per **cambiamento di corsia**, pari alla lunghezza del tratto di strada occorrente per il passaggio da una corsia a quella ad essa adiacente nella manovra di deviazione in corrispondenza di punti singolari (intersezioni, uscite)

Si riporta la formulazione relativa al calcolo della distanza di arresto, verifica obbligatoria per tutti i tipi di strada:

$$D_A = D_1 + D_2 = \frac{V_0}{3,6} \times \tau - \frac{1}{3,6^2} \int_{V_0}^{V_1} \frac{V}{g \times \left[f_i(V) \pm \frac{i}{100} \right] + \frac{Ra(V)}{m} + r_0(V)} dV \quad [\text{m}]$$

D_1 = spazio percorso nel tempo τ

D_2 = spazio di frenatura

V_0 = velocità del veicolo all'inizio della frenatura, pari alla velocità di progetto
desunta puntualmente dal diagramma delle velocità (cfr. par. 5.4) [km/h]

V_1 = velocità finale del veicolo, in cui $V_1 = 0$ in caso di arresto [km/h]

i	= pendenza longitudinale del tracciato	[%]
τ	= tempo complessivo di reazione (percezione, riflessione, reazione e attuazione)	[s]
g	= accelerazione di gravità	[m/s ²]
R_a	= resistenza aerodinamica	[N]
m	= massa del veicolo	[kg]
f_l	= quota limite del coefficiente di aderenza impegnabile longitudinalmente per la frenatura	
r_0	= resistenza unitaria al rotolamento, trascurabile	[N/kg]

Il calcolo della distanza di sorpasso si effettua nella condizione di veicoli marcianti in senso opposto, per cui la distanza di visibilità necessaria a compiere in maniera completa la manovra di sorpasso si calcola come: $D_s = 5,5 \times V$ (velocità espressa in km/h).

Analogamente per la distanza di cambio corsia, con cui si valuta lo spazio necessario per riconoscere la situazione (4 sec), per la decisione ed effettuazione della manovra di cambiamento di una sola corsia (5,5 sec). In tal caso la formula è simile al caso precedente ovvero $D_s = 2,6 \times V$ (velocità espressa in km/h).

Tali verifiche si configurano come un confronto con la **distanza di visuale libera**: indipendentemente dal tipo di strada e dall'ambito (extraurbano o urbano), lungo tutto il tracciato deve essere assicurata la distanza di visibilità per l'arresto in condizioni ordinarie o con tempi di reazione maggiorati. La distanza di visibilità per il sorpasso deve essere garantita per una percentuale di tracciato maggiore del 20%, in relazione al flusso di traffico smaltibile con il livello di servizio assegnato. Per la verifica delle visuali libere, la posizione del conducente deve essere sempre considerata al centro della corsia da lui impegnata, con l'altezza del suo occhio a m. 1,10 dal piano viabile. L'ostacolo va collocato a m. 0,10 dal piano viabile, mentre per il sorpasso l'ostacolo mobile a m. 1,10.

A livello altimetrico il D.M. 2001 sancisce specifici valori di pendenza longitudinale massima da adottare per le diverse categorie di strada, riportati nella tabella seguente:

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

Analogamente devono essere verificati i valori dei raccordi verticali minimi che collegano le livellette. Questi devono essere eseguiti con archi di parabola quadratica ad asse verticale, il cui sviluppo viene calcolato con la seguente formula che ne caratterizza lo sviluppo (lunghezza):

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

L = lunghezza del raccordo

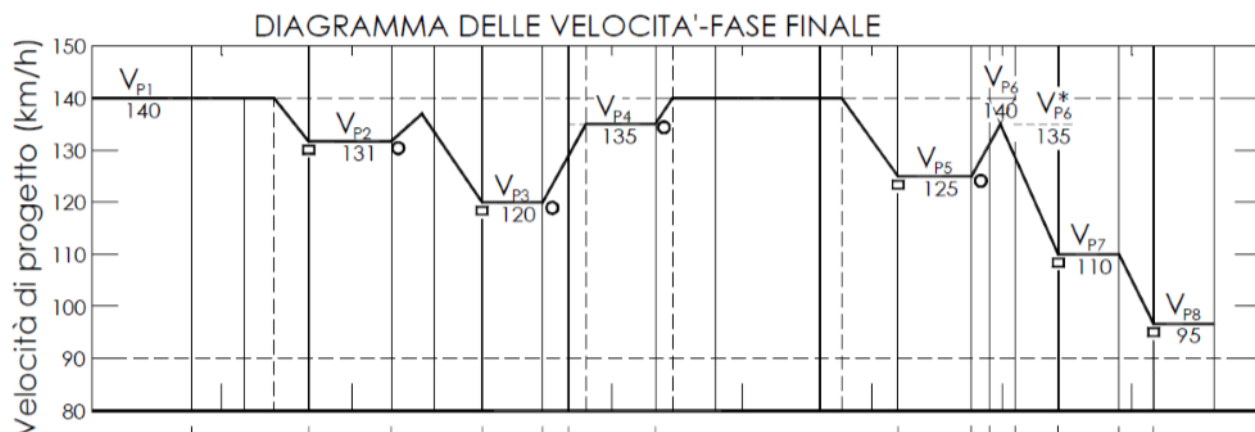
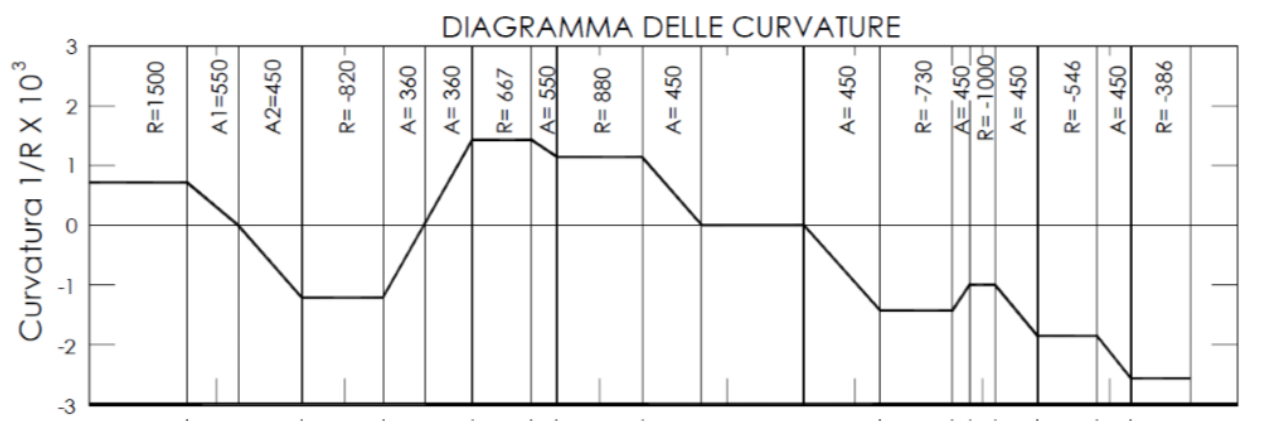
Rv = raggio del cerchio nel vertice della parabola

Δ i = variazione di pendenza (%) delle livellette da raccordare

Inoltre la verifica della correttezza della progettazione stradale comporta la redazione del diagramma di velocità per ogni senso di circolazione. L'intervallo di Vp è funzione del tipo di strada, oltre che si adotta:

- In rettilineo la Velocità di progetto massima
- In curva una velocità costante funzione del raggio
- I valori dell'accelerazione e della decelerazione sono pari a 0.8 m/s^2
- Inoltre si assume che le pendenze longitudinali non influenzino la velocità di progetto

Si riporta di seguito un esempio di costruzione del diagramma delle curvature (si può apprezzare il tratto costante per le curve circolari e variabile per le clotoidi) e il conseguente diagramma delle velocità.



La norma detta altre verifiche per scongiurare la presenza di variazioni troppo brusche della velocità.

Organizzazione sede stradale

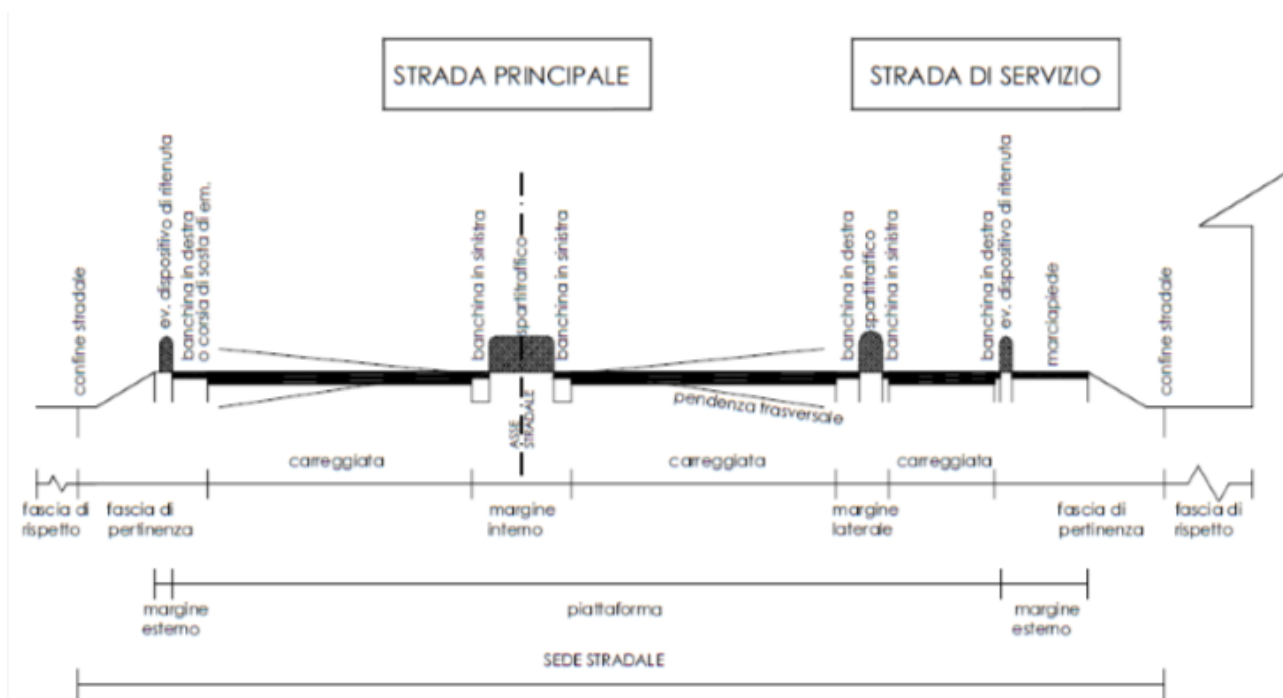
Tra le tipologie di strada va analizzata la sezione stradale che si distingue in:

- Sede naturale, vale a dire in rilevato, scavo o trincea ed in mezzacosta

- Sede artificiale, ovvero su ponte o viadotto, in galleria (naturale o artificiale), in cavalcavia o sottopasso

Esistono poi opere accessorie alla viabilità, quali muri di sostegno, paratie, tombinature idrauliche e similari.

Il D.M. 2001 definisce tutti gli elementi della sede stradale, per i quali si può riprendere l'immagine vista all'inizio della video lezione con l'aggiunta della differenza tra strada principale e strada di servizio in alto.



Nello specifico si definisce come:

- piattaforma stradale lo spazio composto dalla **Carreggiata** (pavimentata, che comprende le corsie e le banchine)

- il **marginale interno** (che separa le corsie in senso opposto)
- a lato della piattaforma è previsto il **marginale esterno** (comprensivo di cigli, arginelli, marciapiedi, dispositivi di ritenuta, parapetti e similari).

Nello specifico le **barriere di sicurezza**, di altezza non inferiore a 1,00 m, vanno dimensionate in funzione del traffico, della % di mezzi pesanti e degli spazi a tergo del dispositivo, per corretta deformazione.

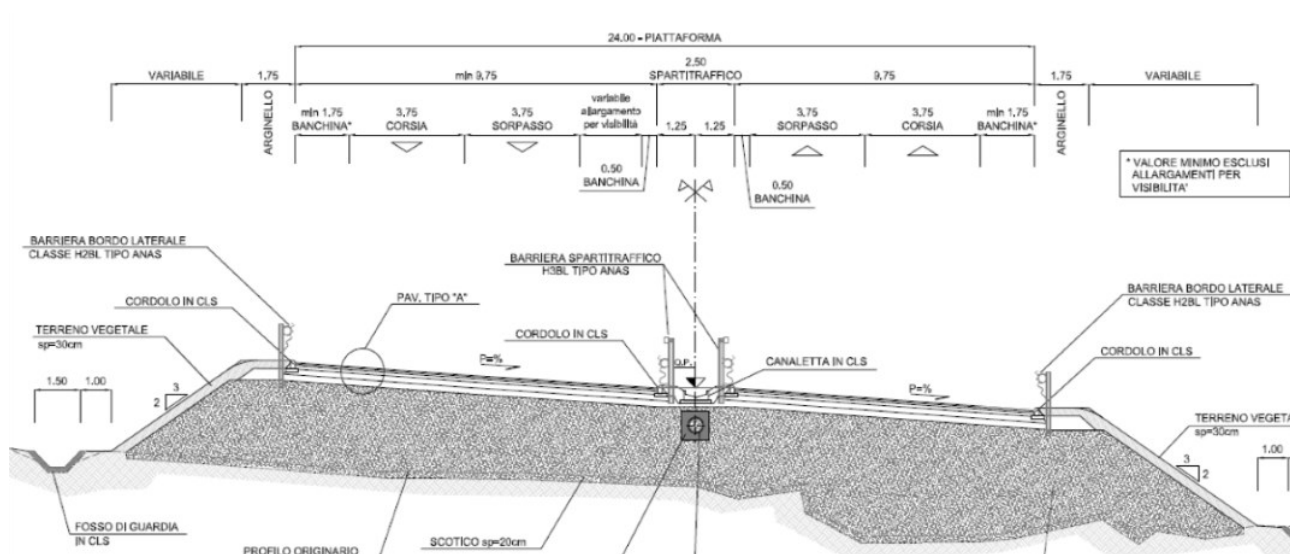
Un altro elemento tecnico della progettazione stradale è rappresentato dalla pavimentazione. Essa si distingue in:

- Flessibile (conglomerati bituminosi)
- Semirigida (conglomerati misti cementati e bituminosi)
- Rigida (conglomerati cementizi e similari)

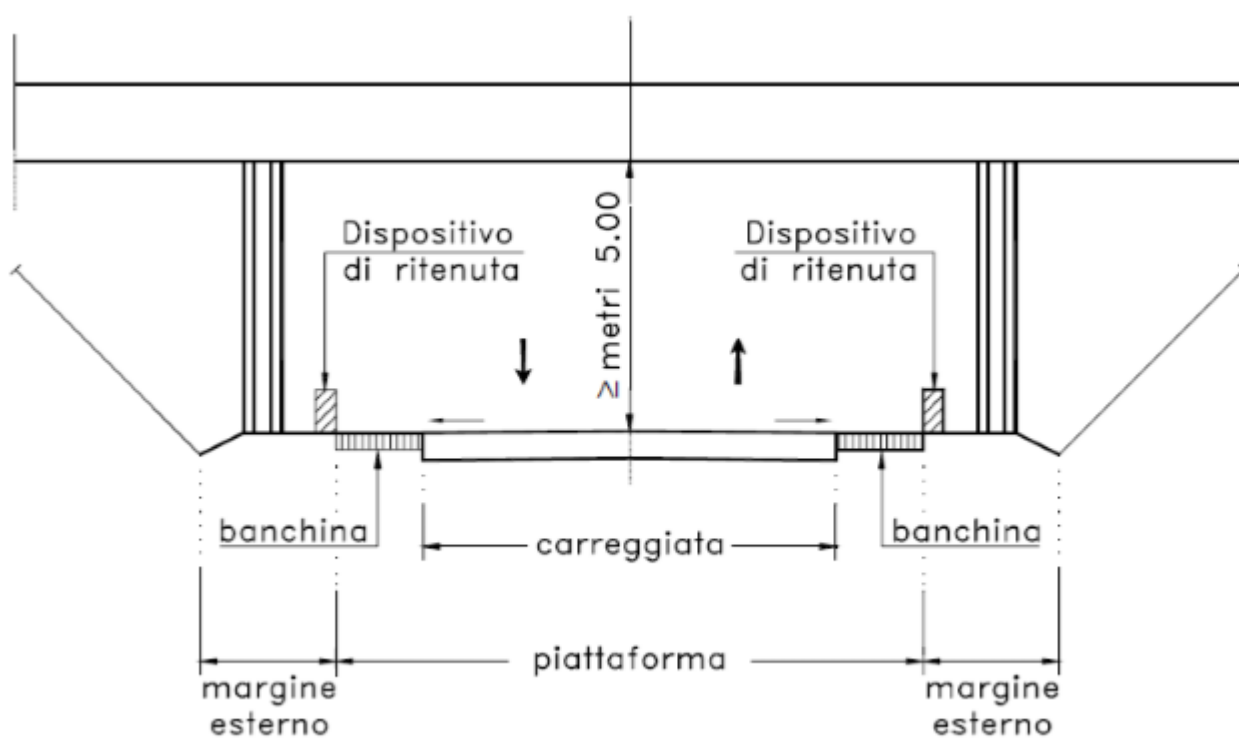
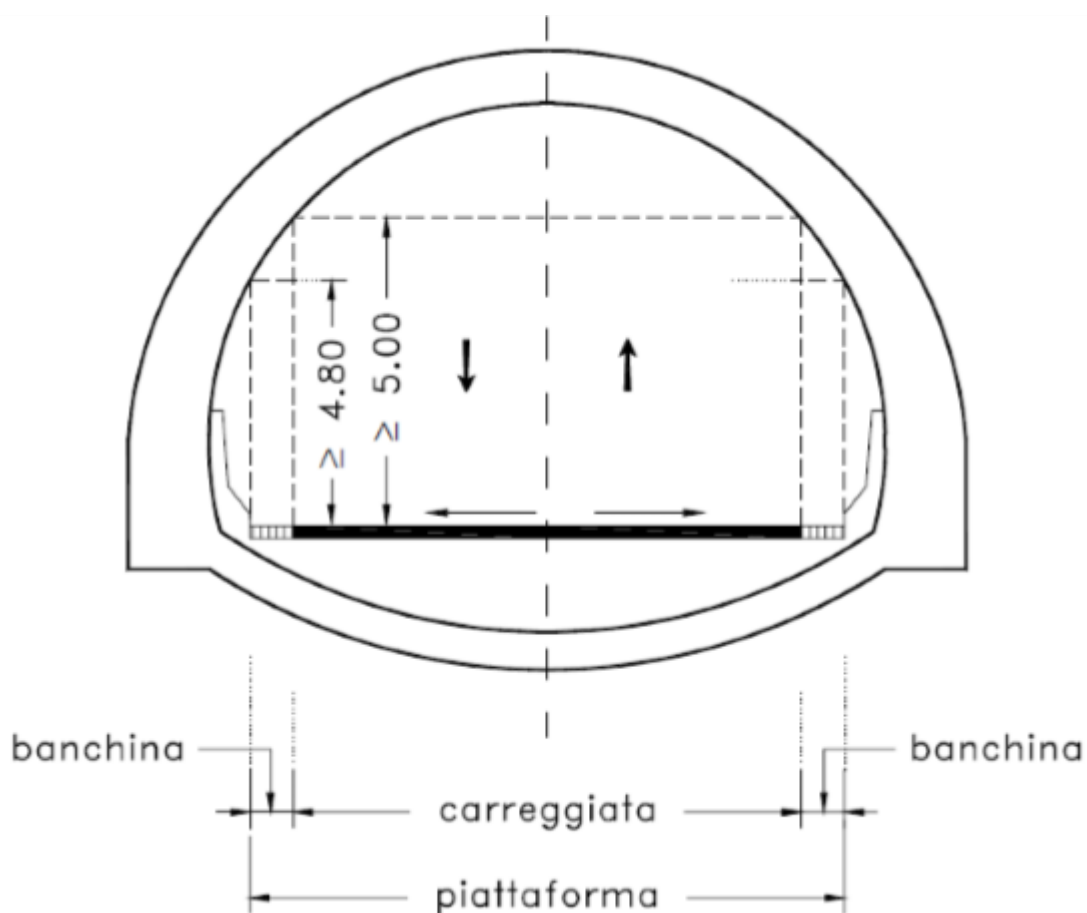
Il pacchetto solitamente prevede diversi strati che si riportano di seguito:

- **Usura**, strato superficiale a contatto con pneumatici, deve avere caratteristiche di aderenza e se richiesto di fonoassorbenza (riduzione del rumore del rotolamento dei pneumatici e del traffico)
- **Binder**, strato di collegamento per trasferire i carichi
- **Base**, funzione portante per le sollecitazioni
- **Fondazione**, funzione portante e di collegamento con il sottofondo del terreno o rilevato

Per maggior comprensione si riporta di seguito un esempio di una sezione stradale in rilevato.



Analogamente per maggior comprensione un esempio di sezione in galleria ed in cavalcavia, desunti dal DM 2001.



Iter del progetto stradale

Bene, passiamo adesso al tema più operativo della progettazione, ovvero andiamo a vedere assieme cosa comprende un progetto stradale. La fase progettuale ha origine con lo studio del contesto territoriale ed antropico (cosiddetto stato di fatto). Si effettuano indagini topografiche e di traffico che poi rappresentano i dati di input per l'impostazione. Successivamente si elabora la base cartografica, attività che si definisce di modellazione del DTM. Una volta digitalizzato lo stato dei luoghi si passa al Tracciamento dell'asse planimetrico ed altimetrico con le verifiche che abbiamo illustrato precedentemente. Successivamente si può definire la sezione stradale e tutti i suoi elementi per poi passare alla modellazione degli ingombri planimetrici.

Solitamente, prima della stesura degli elaborati grafici è previsto un momento di prima condivisione del progetto (con Enti, Committente, Territorio e altri organismi preposti) anche per lo studio di eventuali alternative.

Successivamente si procede alla definizione degli aspetti di dettaglio quali:

- Inserimento delle opere d'arte maggiori e minori
- Definizione di tutti gli elementi di dettaglio
- Progetto delle barriere di sicurezza
- Progetto della segnaletica verticale ed orizzontale

Infine si procede alla redazione degli elaborati grafici ed alla stesura delle relazioni tecniche, fino alla computazione dell'infrastruttura.

Di fondamentale importanza sono le fasi progettuali, dettate peraltro da normative specifiche. Per un progetto stradale si definiscono in:

- Progetto di Fattibilità tecnico-economica
- Progetto Definitivo
- Progetto Esecutivo

Ad ogni fase progettuale sono da prevedersi specifiche approvazioni da parte degli Organi Competenti (tra cui la Conferenza dei Servizi, i pareri tecnici del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Provveditorati, pareri ambientali, Genio Civile e simili). Sulla scorta di ciò si può facilmente desumere che l'iter autorizzativo di un'opera è complicato e può richiedere diversi anni.

Conclusioni

Bene, siamo giunti alla fine di questa video lezione, durante la quale abbiamo percorso seppur brevemente i principali aspetti tecnici della progettazione stradale.

È importante sottolineare che i criteri della progettazione sono riconducibili alla sicurezza dell'utente ed a principi cinematici. La geometria e l'organizzazione della sede stradale è funzione della categoria di strada e dell'intervallo di Velocità di progetto, aspetto fondamentale anche per definire gli elementi di tracciato e condurre correttamente le verifiche al D.M. L'iter di un intervento è un processo iterativo, difficilmente un tracciato stradale non subisce modifiche o revisioni importanti, in particolare è soggetto ad un'ampia fase autorizzativa con gli Enti preposti.

Grazie e buon lavoro.

