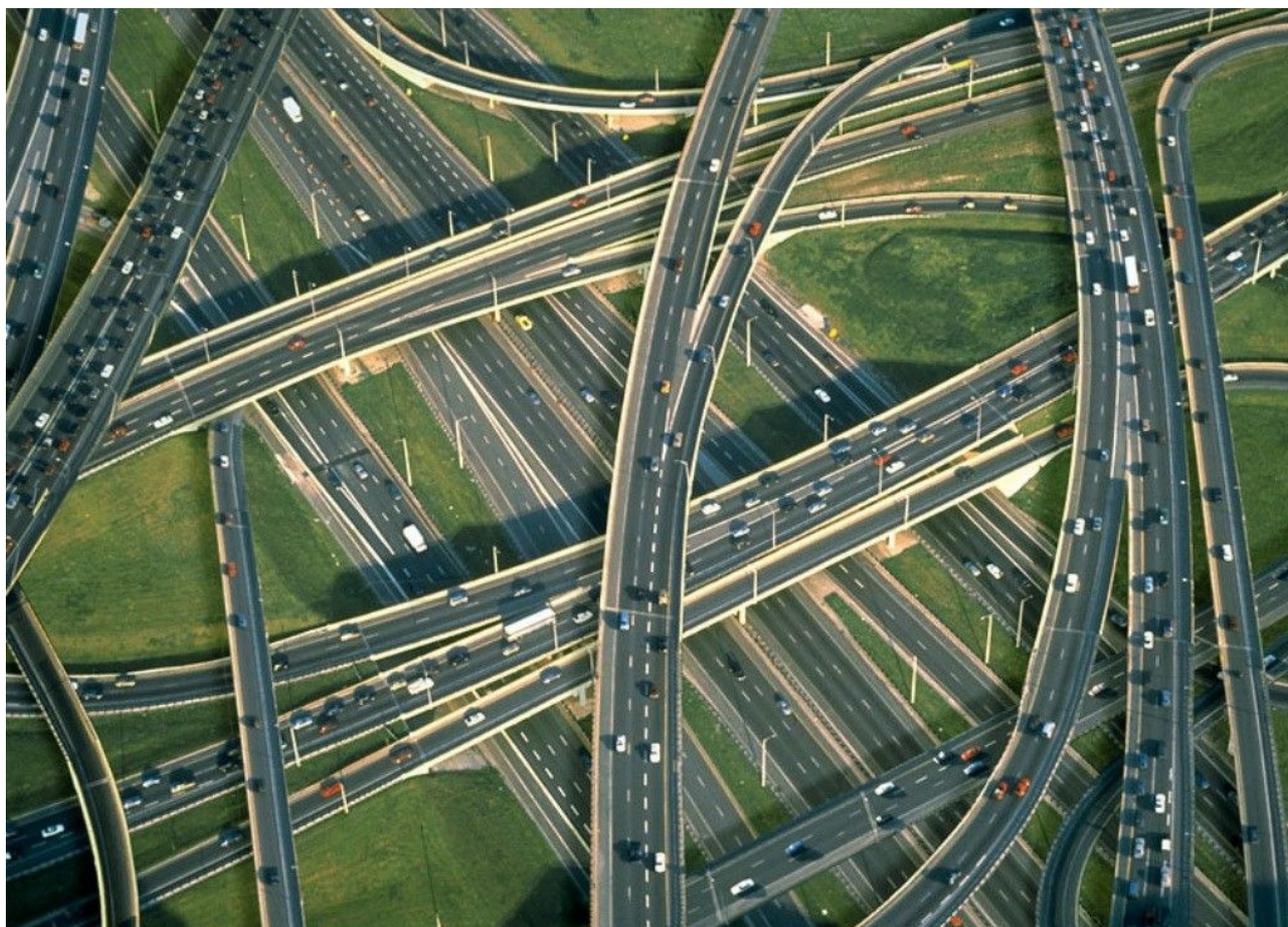


UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI UDINE - ORDINE DEGLI INGEGNERI DI UDINE

LA PROGETTAZIONE DI STRADE E DI INTERSEZIONI

II D.M. 05/11/2001, il D.M. 19/04/2006.

*QUADERNO N°1
PROGETTAZIONE DI STRADE*



Relatori:

Dr. Ing. Marco Stefanutti

Responsabile U.O. Progettazione – Friuli Venezia Giulia Strade S.p.A.

Dott. Ing. Federico Monutti

Progettista stradale – Digicorp Ingegneria S.r.l.

Udine, 30 maggio 2013

INDICE

1	LA PROGETTAZIONE DI STRADE - IL D.M. 05/11/2001	3
1.1	INTRODUZIONE – BREVE EXCURSUS STORICO SULLE NORME DI PROGETTAZIONE STRADALE ITALIANE.....	3
1.2	IL D.M. 05/11/2001 – AMBITO DI APPLICAZIONE	4
1.2.1	Articoli importanti	4
1.1.1	Sintesi delle modalità di applicazione del D.M. 05/11/2001	6
1.3	PROGETTAZIONE DI STRADE: IL D.M. 05/11/2001	6
1.3.1	DEFINIZIONI.....	6
1.4	LE RETI STRADALI.....	6
1.5	CLASSIFICAZIONE DELLE STRADE E CRITERI COMPOSITIVI DELLA PIATTAFORMA.....	8
1.5.1	Elementi costitutivi dello spazio stradale	8
1.5.2	Caratteristiche geometriche e di traffico delle sezioni	12
1.6	ORGANIZZAZIONE DELLA SEDE STRADALE	20
1.6.1	Sezione stradale in sede artificiale	20
1.6.2	Gallerie	22
1.6.3	Elementi marginali e di arredo della sede stradale.....	24
1.7	GEOMETRIA DELL'ASSE STRADALE.....	27
1.7.1	Distanze di visibilità'	27
1.7.2	Andamento planimetrico dell'asse.....	33
1.7.3	Andamento altimetrico dell'asse.....	44
1.7.4	Diagramma delle velocità'	50
1.7.5	Coordinamento piano - altimetrico.....	52
1.8	BIBLIOGRAFIA	54

1 LA PROGETTAZIONE DI STRADE - IL D.M. 05/11/2001

1.1 INTRODUZIONE – BREVE EXCURSUS STORICO SULLE NORME DI PROGETTAZIONE STRADALE ITALIANE

La storia della normativa italiana per la progettazione delle strade comincia all'inizio degli anni '60, periodo in cui è avvenuto un grande sviluppo della rete stradale e autostradale; ciò richiedeva la definizione di standard comuni per le caratteristiche geometriche del tracciato, del profilo, della sezione trasversale.

Le norme **C.N.R. UNI 10005 e 10015** del 1963 introducono una classificazione dei tipi di strada, il concetto di velocità di progetto, i parametri geometrici minimi del tracciato e del profilo. Tali standard oggi appaiono in alcuni casi inadeguati, specialmente per quanto riguarda i raggi di curvatura minimi.

Seguono le norme **C.N.R. N. 31/1973** che forniscono un quadro completo per la progettazione delle strade extraurbane e delle intersezioni stradali extraurbane italiane. Le norme classificano i tipi di piattaforma, introducono il concetto di intervallo di velocità di progetto, definiscono compiutamente i criteri di progetto del tracciato e del profilo, e restano per alcuni elementi un riferimento per la progettazione delle intersezioni in ambito extraurbano (geometria delle curve di ciglio, i triangoli di visibilità, etc.).

Le norme **C.N.R. n. 60/78** "Norme sulle caratteristiche geometriche e di traffico delle strade urbane" contengono una nuova classificazione funzionale e geometrica delle strade urbane. Vengono individuate le componenti di traffico (veicoli pesanti, veicoli del trasporto pubblico, autovetture private, sosta dei veicoli privati e dei veicoli, pubblici) e vengono definite sezioni tipo adatte a ospitare tutte le componenti di traffico (carreggiate, banchine, marciapiedi, aree per la sosta, etc.). Viene introdotto il concetto di fascia di pertinenza (banchine più spazi laterali ausiliari per marciapiedi, fermate del trasporto pubblico, scarpate, etc.).

Le norme **C.N.R. N. 78/1980** riguardano invece solo le strade extraurbane e non le intersezioni. Rispetto alle norme precedenti la classificazione dei tipi di piattaforma e gli intervalli di velocità di progetto vengono rivisti; vengono modificati i criteri di progetto del tracciato e del profilo. Fino al 2001 le norme sono state il riferimento per la progettazione delle strade extraurbane in Italia.

Le norme tecniche elaborate dal C.N.R. avrebbero dovuto essere sempre rispettate per la progettazione di strade e di intersezioni. Esse non assumevano un carattere cogente, come avviene ancora oggi in molti altri Paesi. Pur essendo buone norme di progettazione, le norme C.N.R. non sono mai state accolte con la dovuta considerazione da parte dei progettisti italiani, a differenza di quanto avviene all'estero, dove le norme tecniche sono rispettate senza troppe esitazioni o dubbi da parte dei progettisti.

Nel 1992 escono il **Nuovo Codice della Strada** e il relativo **Regolamento** con importanti articoli riguardanti la classificazione delle strade, le fasce di rispetto, la segnaletica, etc; l'art. 13 affida al Ministero dei Lavori Pubblici il compito di emanare le norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade.

Occorre attendere nove anni per l'uscita del **D.M. n. 6792 del 5/11/2001** che disciplina la progettazione delle strade. Si tratta di una norma cogente, che deve quindi essere completamente osservata sia per il progetto di nuovi tratti di strada, sia per l'adeguamento di strade esistenti. Ciò pone di fronte ai progettisti e ai gestori delle strade responsabilità maggiori che in passato. Rispetto alle norme C.N.R. precedenti c'è una revisione della classificazione dei tipi di strada (ora corrispondente a quella del Codice della Strada), ci sono argomenti nuovi come il diagramma di velocità, diverse modalità di calcolo delle velocità di progetto, delle distanze di visibilità, dei parametri geometrici, etc., e ci sono verifiche più rigorose riguardo la geometria del tracciato.

Spesso nei progetti di adeguamento delle strade esistenti la norma risulta di difficile applicazione. L'emanazione del **D.M. n. 67/s del 22/04/2004** relega il D.M. 5/11/2001 solo al progetto delle strade di nuova costruzione; il D.M. 5/11/2001 deve comunque essere assunto come riferimento per i progetti di adeguamento dell'esistente, in attesa di una futura norma al riguardo.

Nel 2006 la Regione Lombardia emana apposite norme di progettazione stradale; non si tratta dell'unico caso in Italia: da molti anni ci sono ad esempio le norme emanate dalla Provincia di Bolzano, aggiornate con il D.P.P. n°28 del 27/06/2006. Le norme lombarde meritano attenzione in quanto molte delle più importanti infrastrutture in costruzione o in programma sono situate in Lombardia. Le norme lombarde costituiscono un adattamento della norma italiana al contesto territoriale lombardo, fortemente antropizzato e al tempo stesso bisognoso di infrastrutture con alta velocità di progetto. La norma in particolare introduce un maggiore numero di tipi di piattaforma autostradale, considera anche velocità di progetto di 160 km/h, e ammette, in forte contrasto con la norma italiana, il ricorso all'apposizione di limiti di velocità nel caso in cui non sia possibile rispettare le verifiche di visibilità.

Negli ultimi anni un'apposita commissione ha elaborato una bozza di norma riguardante gli interventi di adeguamento delle strade esistenti, che non è stata ancora diventata norma vigente, ma è già molto diffusa negli ambiti tecnico e universitario. L'ultima versione disponibile è datata 21/03/2006.

Il D.Lgs. n° 35 del 15/03/2011 attua la direttiva 2008/96/CE riguardante l'istituzione e l'attuazione di procedure volte alla valutazione di impatto sulla sicurezza stradale per i progetti di infrastruttura, ai controlli della sicurezza stradale, alla gestione della sicurezza della rete stradale ed alle ispezioni di sicurezza. Il decreto si applica alle strade che fanno parte della rete stradale transeuropea, siano esse in fase di pianificazione, di progettazione, in costruzione o già aperte al traffico. Per tutte le altre strade non appartenenti alla rete stradale transeuropea, i contenuti del presente decreto costituiscono norme di principio. A decorrere dal 1° gennaio 2016 la disciplina contenuta nel decreto si applica anche alle strade appartenenti alla rete di interesse nazionale, individuata dal decreto legislativo 29 ottobre 1999, n. 461, e successive modificazioni, non comprese nella rete stradale transeuropea.

1.2 IL D.M. 05/11/2001 – AMBITO DI APPLICAZIONE

1.2.1 Articoli importanti

1.1.1.1 Art. 2 – D.M. 05/11/2001

Le norme si applicano per la costruzione di nuovi tronchi stradali e per l'adeguamento di tronchi stradali esistenti salva la deroga di cui al comma 2 dell'art.13 del Decreto legislativo 30 aprile 1992, n.285 (Codice della Strada).

1.1.1.2 Art. 3 – D.M. 05/11/2001

Nel caso in cui, come previsto dal suddetto comma 2 dell'art.13 del Decreto legislativo 30 aprile 1992, n. 285, particolari condizioni locali, ambientali, paesaggistiche, archeologiche ed economiche non consentano il pieno rispetto delle presenti norme, possono essere adottate soluzioni progettuali diverse a condizione che le stesse siano supportate da specifiche analisi di sicurezza e previo parere favorevole del Consiglio superiore dei lavori pubblici per le autostrade, le strade extraurbane principali e le strade urbane di scorrimento, e del Provveditorato regionale alle opere pubbliche per le altre strade.

1.1.1.3 Comma 2 – Art. 13 del Codice della Strada.

La deroga alle norme di cui al comma 1 è consentita solo per le strade esistenti allorquando particolari condizioni locali, ambientali, paesaggistiche, archeologiche ed economiche non ne consentono l'adeguamento, sempre che sia assicurata la sicurezza stradale e siano comunque evitati inquinamenti.

1.1.1.4 Art. 2 - Decreto Legge 151 del 27.6.2003

2. Al comma 2 dell'articolo 13 del decreto legislativo 30 aprile 1992, n. 285, e successive modificazioni, sono apportate le seguenti modifiche:

a) le parole: "solo per le strade esistenti" sono sostituite dalle seguenti: "solo per specifiche situazioni";

b) le parole: "l'adeguamento" sono sostituite dalle seguenti: "il rispetto".

..... omissis omissis

1.1.1.5 Attuale versione del comma 2 – Art. 13 del Codice della Strada.

La deroga alle norme di cui al comma 1 è consentita solo per specifiche situazioni allorquando particolari condizioni locali, ambientali, paesaggistiche, archeologiche ed economiche non ne consentono **il rispetto**, sempre che sia assicurata la sicurezza stradale e siano comunque evitati inquinamenti.

1.1.1.6 Art. 1 D.M. 22/04/2004

L'art. 2 del decreto ministeriale 5 novembre 2001, n. 6792, e' sostituito come segue: «Le presenti norme si applicano per la costruzione di nuovi tronchi stradali, salva la deroga di cui al comma 2 dell'art. 13 del decreto legislativo 30 aprile 1992, n. 285 e successive modifiche ed integrazioni, e sono di riferimento per l'adeguamento delle strade esistenti, in attesa dell'emanazione per esse di una specifica normativa.»

1.1.1.7 Art. 2 D.M. 22/04/2004

Art. 2. All'art. 3 del decreto ministeriale 5 novembre 2001, n. 6792, dopo le parole «Nel caso in cui,» sono aggiunte le seguenti «per le strade di nuova costruzione,».

1.1.1.8 Attuale versione dell'art. 3 – D.M. 05/11/2001

Nel caso in cui, **per le strade di nuova costruzione**, come previsto dal suddetto comma 2 dell'art.13 del Decreto legislativo 30 aprile 1992,n.285, particolari condizioni locali, ambientali, paesaggistiche, archeologiche ed economiche non consentano il pieno rispetto delle presenti norme, possono essere adottate soluzioni progettuali diverse a condizione che le stesse siano supportate da specifiche analisi di sicurezza e previo parere favorevole del Consiglio superiore dei lavori pubblici per le autostrade, le strade extraurbane principali e le strade urbane di scorrimento, e del Provveditorato regionale alle opere pubbliche per le altre strade.

1.1.1.9 Art. 3 D.M. 22/04/2004

Entro sei mesi dalla pubblicazione del presente decreto, la Direzione generale per le strade ed autostrade predispone nuove norme per gli interventi di adeguamento delle strade esistenti, finalizzate all'innalzamento dei livelli di sicurezza ed al miglioramento funzionale della circolazione, nel rispetto dei vincoli ambientali, paesaggistici, archeologici, delle condizioni locali, nonché delle esigenze della continuità di esercizio. Entro lo stesso termine la Direzione generale per le strade ed autostrade predispone apposite linee guida contenenti criteri e modalità per la presentazione delle richieste di deroga alle norme di cui al punto 1 del presente articolo.

1.1.1.10 Art. 4 D.M. 22/04/2004

Fino all'emanazione delle suddette norme, per il conseguimento delle finalita' di cui al precedente articolo, i progetti di adeguamento delle strade esistenti devono contenere una specifica relazione dalla quale risultino analizzati gli aspetti connessi con le esigenze di sicurezza, attraverso la dimostrazione che l'intervento, nel suo complesso, e' in grado di produrre, oltre che un miglioramento funzionale della circolazione, anche un innalzamento del livello di sicurezza, fermo restando la necessita' di garantire la continuita' di esercizio della infrastruttura.

1.1.1.11 Cap. 1 - D.M. 05/11/2001

... omissis ...

Le norme di questo testo si riferiscono alla costruzione di tutti i tipi di strade previste dal Codice, con esclusione di quelle di montagna collocate su terreni morfologicamente difficili, per le quali non è generalmente possibile il rispetto dei criteri di progettazione di seguito previsti.

Inoltre queste norme non considerano particolari categorie di strade urbane, quali ad esempio quelle collocate in zone residenziali, che necessitano di particolari arredi, ...

... omissis ...

1.1.1 Sintesi delle modalità di applicazione del D.M. 05/11/2001

In sintesi, allo stato attuale della normativa, il D.M. 05/11/2001 si applica nel seguente modo:

- **Strade di nuova costruzione:** la strada deve rispondere a tutti i requisiti della norma; se non è possibile rispettare la norma deve essere richiesta una deroga, supportando la domanda con specifiche analisi di sicurezza.

- **Adeguamento di strade esistenti:** il D.M. 05/11/2001 è solo di riferimento; se la norma non viene rispettata, non occorre una richiesta di deroga, ma al progetto deve essere allegata una specifica relazione sulla sicurezza.

1.3 PROGETTAZIONE DI STRADE: IL D.M. 05/11/2001

1.3.1 DEFINIZIONI

Le caratteristiche plano altimetriche dell'asse stradale dipendono dall'intervallo di velocità di progetto.

La velocità di progetto è il valore di velocità che in fase di progettazione viene associato ad un determinato elemento del tracciato in base a considerazioni geometriche, cinematiche e dinamiche.

L'intervallo di velocità di progetto è l'insieme dei valori entro cui può variare la velocità di progetto dei diversi elementi del tracciato. La velocità di progetto minima può essere adottata solo negli elementi plano-altimetrici più vincolanti, la velocità di progetto massima caratterizza invece i tratti più scorrevoli (rettifili lunghi, curve di grande raggio). Il progettista ha quindi una certa libertà di adeguare il tracciato alla morfologia o ai vincoli del territorio.

Il passaggio da un elemento con una certa velocità di progetto ad un altro con velocità di progetto sensibilmente diversa dovrà avvenire con gradualità.

1.4 LE RETI STRADALI

Il sistema globale di infrastrutture stradali può essere schematizzato come un insieme integrato di reti distinte ciascuna delle quali costituita da un insieme di elementi componenti che si identificano con le strade (archi), collegate da un sistema di interconnessioni (nodi).

La classificazione delle reti avviene in base ai seguenti aspetti:

- tipo di movimento servito (di transito, di distribuzione, di penetrazione, di accesso);
- entità dello spostamento (distanza mediamente percorsa dai veicoli);
- funzione assunta nel contesto territoriale attraversato (collegamento nazionale, interregionale, provinciale, locale);
- componenti di traffico e relative categorie (veicoli leggeri, veicoli pesanti, motoveicoli, pedoni, ecc.).

In Tabella 1 è riportata la classificazione delle reti (rete primaria, rete principale, rete secondaria, rete locale) con le strade corrispondenti.

RETE	STRADE CORRISPONDENTI SECONDO CODICE	
	in ambito extraurbano	in ambito urbano
a - rete primaria (di transito, scorrimento)	autostrade extraurbane strade extraurbane principali	autostrade urbane strade urbane di scorrimento
b - rete principale (di distribuzione)	strade extraurbane principali	strade urbane di scorrimento
c - rete secondaria (di penetrazione)	strade extraurbane secondarie	strade urbane di quartiere
d - rete locale (di accesso)	strade locali extraurbane	strade locali urbane

Tabella 1 – Classificazione funzionale delle reti.

In Figura 1 sono rappresentati i quattro livelli funzionali di rete.



Figura 1 – Rappresentazione dei quattro livelli funzionali di rete.

1.5 CLASSIFICAZIONE DELLE STRADE E CRITERI COMPOSITIVI DELLA PIATTAFORMA

Conformemente a quanto previsto all'art.2 del "Codice della strada" (D. L.vo 285/92 e suoi aggiornamenti successivi) le strade sono classificate, riguardo alle loro caratteristiche costruttive, tecniche e funzionali, nei seguenti tipi:

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

L'art. 3 del Codice della strada indica per ciascun tipo di strada le seguenti caratteristiche minime:

A) AUTOSTRADA: strada extraurbana o urbana a carreggiate indipendenti o separate da spartitraffico invalicabile, ciascuna con almeno due corsie di marcia, eventuale banchina pavimentata a sinistra e corsia di emergenza o banchina pavimentata a destra, priva di intersezioni a raso e di accessi privati, dotata di recinzione e di sistemi di assistenza all'utente lungo l'intero tracciato, riservata alla circolazione di talune categorie di veicoli a motore e contraddistinta da appositi segnali di inizio e fine; deve essere attrezzata con apposite aree di servizio ed aree di parcheggio entrambe con accessi dotati di corsie di decelerazione e di accelerazione;

B) STRADA EXTRAURBANA PRINCIPALE: strada a carreggiate indipendenti o separate da spartitraffico invalicabile, ciascuna con almeno due corsie di marcia e banchina pavimentata a destra, priva di intersezioni a raso, con accessi alle proprietà laterali coordinati, contraddistinta dagli appositi segnali di inizio e fine, riservata alla circolazione di talune categorie di veicoli a motore; per eventuali altre categorie di utenti devono essere previsti opportuni spazi. Deve essere attrezzata con apposite aree di servizio, che comprendano spazi per la sosta, con accessi dotati di corsie di decelerazione e di accelerazione.

C) STRADA EXTRAURBANA SECONDARIA: strada ad unica carreggiata con almeno una corsia per senso di marcia e banchine.

D) STRADA URBANA DI SCORRIMENTO: strada a carreggiate indipendenti o separate da spartitraffico, ciascuna con almeno due corsie di marcia, ed una eventuale corsia riservata ai mezzi pubblici, banchina pavimentata a destra e marciapiedi, con le eventuali intersezioni a raso semaforizzate; per la sosta sono previste apposite aree o fasce laterali esterne alla carreggiata, entrambe con immissioni ed uscite concentrate.

E) STRADA URBANA DI QUARTIERE: strada ad unica carreggiata con almeno due corsie, banchine pavimentate e marciapiedi; per la sosta sono previste aree attrezzate con apposita corsia di manovra, esterna alla carreggiata.

F) STRADA LOCALE: strada urbana od extraurbana opportunamente sistemata ai fini di cui al comma 1 non facente parte degli altri tipi di strade."

Le componenti di traffico, le classi veicolari e le funzioni ammesse sono raggruppate in 14 categorie di traffico, omogenee per caratteristiche ed esigenze funzionali.

1.5.1 Elementi costitutivi dello spazio stradale

BANCHINA: parte della strada libera da qualsiasi ostacolo compresa tra il margine della carreggiata e il più vicino tra i seguenti elementi: marciapiede, spartitraffico, arginello, ciglio interno della cunetta, ciglio superiore della scarpata nei rilevati. Si distingue in:

"Banchina in destra", che ha funzione di franco laterale destro; è di norma pavimentata ed è sostituita, in alcuni tipi di sezione, dalla corsia di emergenza.

"Banchina in sinistra", che è la parte pavimentata del margine interno.

CARREGGIATA: parte della strada destinata allo scorrimento dei veicoli; essa è composta da una o più corsie di marcia; è pavimentata ed è delimitata da strisce di margine (segnaletica orizzontale).

CONFINE STRADALE: limite della proprietà stradale quale risulta dagli atti di acquisizione o dalle fasce di esproprio del progetto approvato; in mancanza, il confine è costituito dal ciglio esterno del fosso di guardia o della cunetta, ove esistenti, o dal piede della scarpata se la strada è in rilevato o dal ciglio superiore della scarpata se la strada è in trincea.

CORSIA: parte longitudinale della strada, normalmente delimitata da segnaletica orizzontale, di larghezza idonea a permettere il transito di una sola fila di veicoli. Si distingue in:

a) corsia di marcia: corsia facente parte della carreggiata, destinata alla normale percorrenza o al sorpasso;

b) corsia riservata: corsia di marcia destinata alla circolazione esclusiva di una o solo di alcune categorie di veicoli;

c) corsia specializzata: corsia destinata ai veicoli che si accingono ad effettuare determinate manovre, quali svolta, attraversamento, sorpasso, decelerazione, accelerazione, manovra per la sosta o che presentino basse velocità (corsia di arrampicamento) o altro;

d) corsia di emergenza: corsia, adiacente alla carreggiata, destinata alle soste di emergenza, al transito dei veicoli di soccorso ed, eccezionalmente, al movimento dei pedoni.

DISPOSITIVO DI RITENUTA: Elemento tendente ad evitare la fuoriuscita dei veicoli dalla piattaforma o comunque a ridurne le conseguenze dannose. E' contenuto all'interno dello spartitraffico o del margine esterno alla piattaforma.

FASCIA DI PERTINENZA: striscia di terreno compresa tra la carreggiata più esterna e il confine stradale. E' parte della proprietà stradale e può essere utilizzata solo per la realizzazione di altre parti della strada.

FASCIA DI RISPETTO: striscia di terreno, esterna al confine stradale, sulla quale esistono vincoli alla realizzazione, da parte del proprietario del terreno, di scavi, costruzioni, recinzioni, piantagioni, depositi e simili. Per la larghezza vedere gli articoli 26, 27 e 28 del Regolamento del Codice della Strada.

MARCIAPIEDE: parte della strada, esterna alla carreggiata, rialzata o altrimenti delimitata e protetta, destinata ai pedoni.

MARGINE INTERNO: parte della piattaforma che separa carreggiate percorse in senso opposto.

MARGINE LATERALE: parte della piattaforma che separa carreggiate percorse nello stesso senso.

MARGINE ESTERNO: parte della sede stradale, esterna alla piattaforma, nella quale trovano sede cigli, cunette, arginelli, marciapiedi e gli elementi di sicurezza o di arredo (dispositivi di ritenuta, parapetti sostegni, ecc.).

PIATTAFORMA: parte della sede stradale che comprende i seguenti elementi:

a) una o più carreggiate complanari, di cui la corsia costituisce il modulo fondamentale;

b) le banchine in destra e in sinistra;

c) i margini (eventuali) interno e laterale (comprensivi delle banchine);

d) le corsie riservate, le corsie specializzate, le fasce di sosta laterale e le piazzole di sosta o di fermata dei mezzi pubblici (se esistenti).

SEDE STRADALE: superficie compresa entro i confini stradali.

SPARTITRAFFICO: parte non carrabile del margine interno o laterale, destinata alla separazione fisica di correnti veicolari. Comprende anche lo spazio destinato al funzionamento (deformazione permanente) dei dispositivi di ritenuta.

In Figura 2 sono illustrati gli elementi che costituiscono lo spazio stradale.

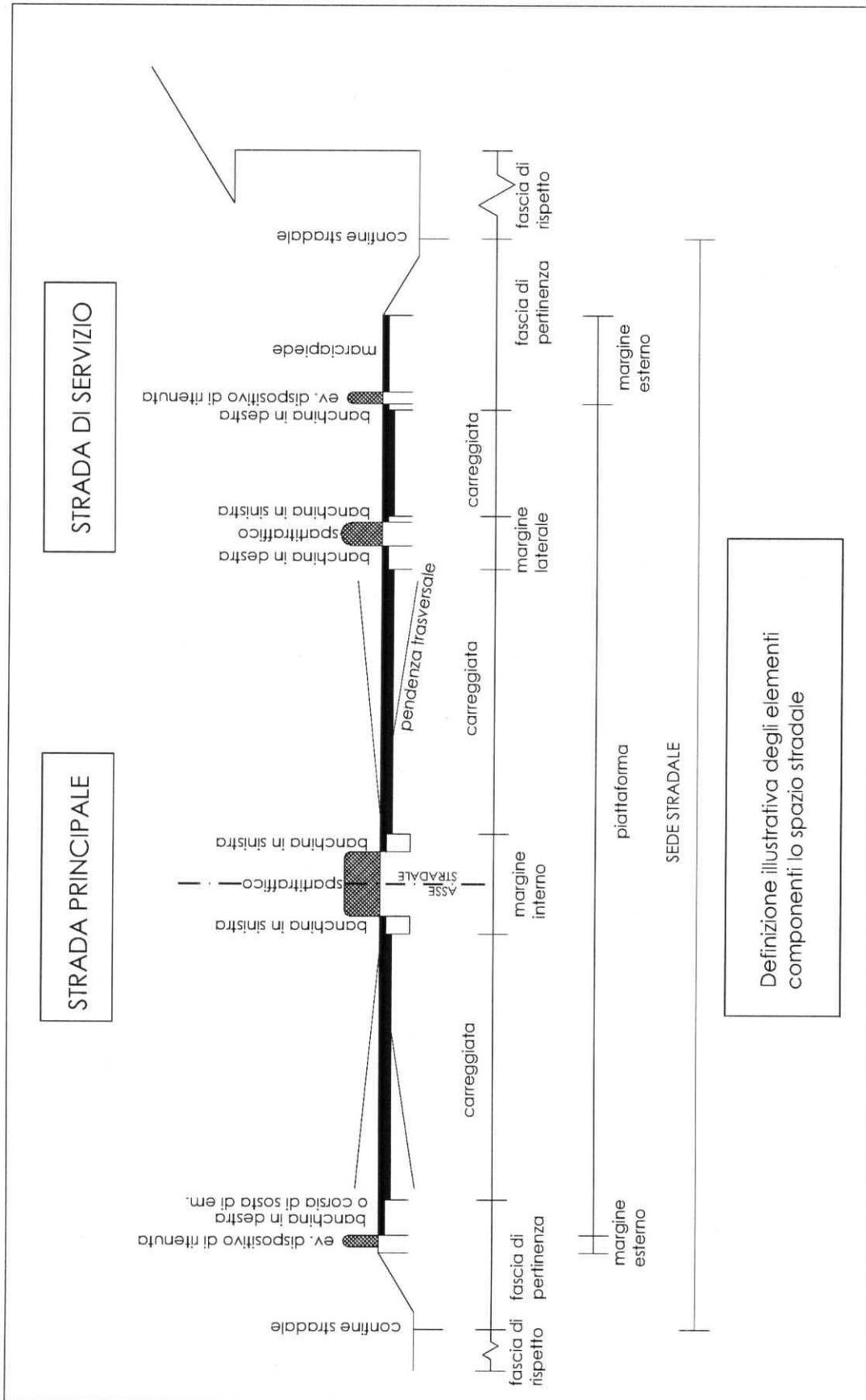


Figura 2 – Elementi che costituiscono lo spazio stradale.

1.5.2 Caratteristiche geometriche e di traffico delle sezioni

In Tabella 2, Tabella 3, Tabella 4 e Tabella 5 sono riportati i parametri geometrici, cinematici e di traffico dei diversi tipi di strada previsti dal decreto. In particolare sono indicati: il limite di velocità secondo il Codice della Strada, il numero di corsie per senso di marcia, l'intervallo di velocità di progetto, la larghezza delle corsie, la larghezza dello spartitraffico, la larghezza delle banchine, la larghezza dei margini, il livello di servizio¹, la portata di servizio, ovvero la portata corrispondente al dato livello di servizio.

In particolare in Tabella 2 per le strade urbane² si può osservare quanto segue:

- Il limite di velocità previsto dal Codice della strada è di 50 km/h; solo nelle strade urbane di scorrimento può essere elevato a 70 km/h.
- L'intervallo di velocità di progetto è in ogni caso delimitato superiormente da una velocità di progetto massima pari al limite di velocità da Codice + 10 km/h. Si tratta di una misura a favore di sicurezza ripresa nella norma sull'adeguamento: gli elementi geometrici dell'asse stradale devono essere dimensionati per una velocità superiore a quella limite consentita in esercizio.
- In tutti i tipi di strada urbana, diversamente dal caso extraurbano, ci possono essere più corsie per senso di marcia.

In Tabella 3 sono riportate le larghezze delle corsie e delle banchine. Nelle strade urbane le corsie hanno una larghezza compresa tra 2.75 e 3.25 m, le banchine una larghezza da 0.5 a 1 m. Le corsie riservate ai mezzi pubblici devono avere larghezza superiore a 3.50 m.

In Tabella 4 sono riportati i livelli di servizio di progetto e i flussi per corsia ad essi associati. La scelta del tipo di strada deve infatti avvenire considerando i flussi rilevati o previsti e il livello di servizio minimo da garantire, riportato in tabella. Nelle strade urbane si accetta il raggiungimento della capacità, ovvero del massimo flusso che può transitare in quella data sezione; nel caso urbano la determinazione del livello di servizio deve tenere conto non solo delle caratteristiche geometriche della sezione e della composizione del traffico, ma anche della presenza di intersezioni e delle modalità di regolazione delle precedenza. I flussi associati alla capacità sono di 800-950 eph per corsia; per flussi superiori occorre aumentare il numero di corsie per senso di marcia.

In Tabella 5 sono indicati i modi in cui viene regolata la sosta, la fermata dei veicoli pubblici, il traffico pedonale e gli accessi. In particolare per le strade urbane vale quanto segue:

- Nelle strade di tipo D la sosta è consentita solo in apposite aree esterne alla piattaforma, con entrate e uscite concentrate.
- Nelle strade di tipo E e F la sosta è consentita in una fascia a lato della carreggiata.
- La fermata dei mezzi pubblici deve essere esterna alla carreggiata; si può introdurre una corsia specializzata per i mezzi pubblici.
- Il traffico pedonale passa sui marciapiedi, che devono essere protetti nel caso delle strade di tipo D.
- Gli accessi sono consentiti su tutte le strade urbane, fuorché nel caso delle strade di scorrimento, in cui è necessario raggruppare gli accessi lungo una strada di servizio.

¹ Con livello di servizio si intende una misura della qualità della circolazione ai sensi dell'Highway Capacity Manual – Transportation Research Board – USA. Il livello di servizio A indica circolazione libera, il livello di servizio B contraddistingue una circolazione con limitati condizionamenti, i livelli C, D indicano un maggiore condizionamento veicolare, il livello E la capacità, ovvero il massimo flusso di veicoli che la data sezione stradale è in grado di fare transitare.

² Negli esempi che seguiranno per brevità nell'insieme delle strade urbane si trascurano le Autostrade urbane.

TIPI SECONDO IL CODICE		AMBITO TERRITORIALE		LIMITE DI VELOCITA'	Numero delle corsie per senso di marcia	Intervallo di velocità di progetto	
						Limite inferiore (km/ora)	Limite superiore (km/ora)
1	2	3		4	5	6	7
AUTOSTRADA	A	EXTRAURBANO	strada principale	130	2 o più	90	140
			eventuale strada di servizio	90	1 o più	40	100
		URBANO	strada principale	130	2 o più	80	140
			eventuale strada di servizio	50	1 o più	40	60
EXTRAURBANA PRINCIPALE	B	EXTRAURBANO	strada principale	110	2 o più	70	120
			eventuale strada di servizio	90	1 o più	40	100
EXTRAURBANA SECONDARIA	C	EXTRAURBANO	C1	90	1	60	100
			C2	90	1	60	100
URBANA DI SCORRIMENTO	D	URBANO	strada principale	70	2 o più	50	80
			eventuale strada di servizio	50	1 o più	25	60
URBANA DI QUARTIERE	E	URBANO		50	1 o più	40	60
LOCALE	F	EXTRAURBANO	F1	90	1	40	100
			F2	90	1	40	100
		URBANO		50	1 o più	25	60

C₁ - F₁ = strada extraurbana a traffico sostenuto
C₂ - F₂ = strada extraurbana a traffico limitato

Tabella 2 – Classificazione delle strade e principali parametri di progetto.

TIPI SECONDO IL CODICE		AMBITO TERRITORIALE		Larghezza min, dello spartitraffico (m)	Larghezza min, della banchina in sinistra (m)	Larghezza min, della banchina in destra (m)	Larghezza della corsia di emergenza (m)	
1	2	3		9	10	11	12	
AUTOSTRADA	A	EXTRAURBANO	strada principale	3,75	2,6	0,70	2,50 *****	3,00
			eventuale strada di servizio	3,50 **	-	0,50	1,25	-
		URBANO	strada principale	3,75	1,8	0,70	2,50 *****	3,00
			eventuale strada di servizio	3,00 * **	-	0,50	0,50	-
EXTRAURBANA PRINCIPALE	B	EXTRAURBANO	strada principale	3,75	2,50 ***	0,50	1,75	-
			eventuale strada di servizio	3,50 **	2,00 ****	0,50	1,25	-
EXTRAURBANA SECONDARIA	C	EXTRAURBANO	C1	3,75	-	-	1,50	-
			C2	3,50	-	-	1,25	-
URBANA DI SCORRIMENTO	D	URBANO	strada principale	3,25 ⁺	1,8	0,50	1,00	-
			eventuale strada di servizio	2,75 **	-	0,50	0,50	-
URBANA DI QUARTIERE	E	URBANO		3,00 * **	-	-	0,50	-
LOCALE	F	EXTRAURBANO	F1	3,50	-	-	1,00	-
			F2	3,25	-	-	1,00	-
		URBANO		2,75 **	-	-	0,50	-
* m 3,50 per una corsia per senso di marcia, se strada percorsa da autobus. ** nel caso di una strada a senso unico con una sola corsia, la larghezza complessiva della corsia più le banchine deve essere non inferiore a 5,50 m, incrementando la corsia sino ad un massimo di m 3,75 e riportando la differenza sulla banchina in destra. *** per spartitraffico che ricade nel margine interno **** per spartitraffico che ricade nel margine laterale ***** in assenza di corsia di emergenza								

Tabella 3 – Classificazione delle strade, larghezze degli elementi che compongono la piattaforma.

TIPI SECONDO IL CODICE		AMBITO TERRITORIALE	Larghezza min, del margine interno (m)	Larghezza min, del margine laterale (m)	LIVELLO DI SERVIZIO	Portata di servizio per corsia (autoveic. equiv./ora)	Larghezza minima dei marciapiedi (m)	
1	2	3	13	14	15	16	17	
AUTOSTRADA	A	EXTRAURBANO	strada principale	4,0 (a)	6,1 (b)	B (2 o più corsie)	1100	-
			eventuale strada di servizio	-	-	C (1 corsia) C (2 o più corsie)	650 (d) 1350	-
		URBANO	strada principale	3,2 (a)	5,3 (b)	C (2 o più corsie)	1550	-
			eventuale strada di servizio	-	-	D (1 corsia) D (2 o più corsie)	1150 (d) 1650	1,50
EXTRAURBANA PRINCIPALE	B	EXTRAURBANO	strada principale	3,5(a)	4,25(b)	B (2 o più corsie)	1000	-
			eventuale strada di servizio	-	-	C (1 corsia) C (2 o più corsie)	650 (d) 1200	-
EXTRAURBANA SECONDARIA	C	EXTRAURBANO	C1	-	-	C (1 corsia)	- 600 (e)	-
			C2	-	-	C (1 corsia)	- 600 (e)	-
URBANA DI SCORRIMENTO	D	URBANO	strada principale	2,8 (a)	3,30(b)	CAPACITA' (c)	950	1,50
			eventuale strada di servizio	-	-	CAPACITA' (c)	800	1,50
URBANA DI QUARTIERE	E	URBANO		0,50 (segnaletica orizz.)	-	CAPACITA' (c)	800	1,50
LOCALE	F	EXTRAURBANO	F1	-	-	C (1 corsia)	- 450 (e)	-
			F2	-	-	C (1 corsia)	- 450 (e)	-
		URBANO		-	-	CAPACITA' (c)	800	1,50
(a) colonne 9 + (10x2).								
(b) colonne 9 + 10 della strada di servizio + 11 o 12.								
(c) in questo caso il livello di servizio non dipende solo dagli elementi geometrici, ma anche dalla regolazione delle intersezioni (ad es, durata di un ciclo semaforico, tempo di verde).								
(d) nell'ipotesi di flusso 100% in una direzione e percentuale di visibilità per il sorpasso 0%.								
(e) nell'ipotesi di flussi bilanciati nei due sensi (percentuale di visibilità per il sorpasso 100%).								

Tabella 4 – Classificazione delle strade, larghezze degli elementi che compongono la piattaforma, livelli di servizio.

TIPI SECONDO IL CODICE		AMBITO TERRITORIALE		Regolazione della sosta	Regolazione dei mezzi pubblici	Regolazione e del traffico pedonale	Accessi
1	2	3		18	19	20	21
AUTOSTRADA	A	EXTRAURBANO	strada principale	Ammessa in spazi separati con immissioni ed uscite concentrate	Esclusa la fermata	Escluso	Esclusi
			eventuale strada di servizio	Ammessa in appositi spazi (fascia di sosta)	Fermate organizzate in apposite aree al fianco delle carreggiate	In banchina	Ammessi
		URBANO	strada principale	Ammessa in spazi separati con immissioni ed uscite concentrate	Esclusa la fermata	Escluso	Esclusi
			eventuale strada di servizio	Ammessa in appositi spazi (fascia di sosta)	Piazzole di fermata o eventuale corsia riservata	Su marciapiedi protetti	Ammessi
EXTRAURBANA PRINCIPALE	B	EXTRAURBANO	strada principale	Ammessa in spazi separati con immissioni ed uscite concentrate o in piazzole di sosta	Ammessa in spazi separati con immissioni ed uscite apposite	Escluso	Esclusi
			eventuale strada di servizio	Ammessa in appositi spazi (fascia di sosta)	Fermate organizzate in apposite aree al fianco delle carreggiate	In banchina	Ammessi
EXTRAURBANA SECONDARIA	C	EXTRAURBANO	C1	Ammessa in piazzole di sosta	Fermate organizzate in apposite aree al fianco delle carreggiate	In banchina	Ammessi
			C2				
URBANA DI SCORRIMENTO	D	URBANO	strada principale	Ammessa in spazi separati con immissioni ed uscite concentrate	Corsia riservata e/o fermate organizzate	Su marciapiedi protetti	Esclusi
			eventuale strada di servizio	Ammessa in appositi spazi (fascia di sosta)	Piazzole di fermata	Su marciapiedi	Ammessi
URBANA DI QUARTIERE	E	URBANO		Ammessa in appositi spazi (fascia di sosta)	Piazzole di fermata o eventuale corsia riservata	Su marciapiedi	Ammessi
LOCALE	F	EXTRAURBANO	F1	Ammessa in piazzole di sosta	Fermate organizzate in apposite aree al fianco delle carreggiate	In banchina	Ammessi
			F2				
		URBANO		Ammessa in appositi spazi (fascia di sosta)	Piazzola di fermata	Su marciapiedi	Ammessi

Tabella 5 – Classificazione delle strade, regolazione della sosta, della fermata dei mezzi pubblici, del traffico pedonale e degli accessi.

1.1.1.12 Marciapiedi

Nelle strade urbane sono previsti ai lati i marciapiedi. La larghezza del marciapiede va considerata al netto sia di strisce erbose o di alberature che di dispositivi di ritenuta. Tale larghezza non può essere inferiore a metri **1.50**. Sul marciapiede possono, comunque, trovare collocazione centralini semaforici, colonnine di chiamata di soccorso, idranti, pali e supporti per l'illuminazione e per la segnaletica verticale, nonché cartelloni pubblicitari, da installare in senso longitudinale alla strada. In presenza di occupazioni di suolo pubblico localizzate e impegnative (edicole di giornali, cabine telefoniche, cassonetti ecc.) la larghezza minima del passaggio pedonale dovrà comunque essere non inferiore a metri **2.00**.

1.1.1.13 Regolazione della sosta

A seconda del tipo di strada la sosta è consentita sulla piattaforma o in appositi spazi separati connessi opportunamente con la strada principale. Gli stalli di sosta possono essere disposti in senso longitudinale o trasversale rispetto alla via.

Con riferimento alla Figura 3 le dimensioni degli stalli sono:

- A pettine: $b_1=2.30$ m, $L_1=5.00$ m.

- A spina: $b_2=2.30$ m, $L_2=4.80$ m.

- Longitudinali: $b_3=2$ m, $L_3=5.00$ m.

Le eventuali corsie di manovra a servizio delle fasce di sosta devono avere una larghezza, misurata tra gli assi delle strisce che le delimitano, rispettivamente pari a **3.50 m** per la sosta longitudinale e **6.00 m** per la sosta perpendicolare al bordo della carreggiata, con valori intermedi per la sosta inclinata.

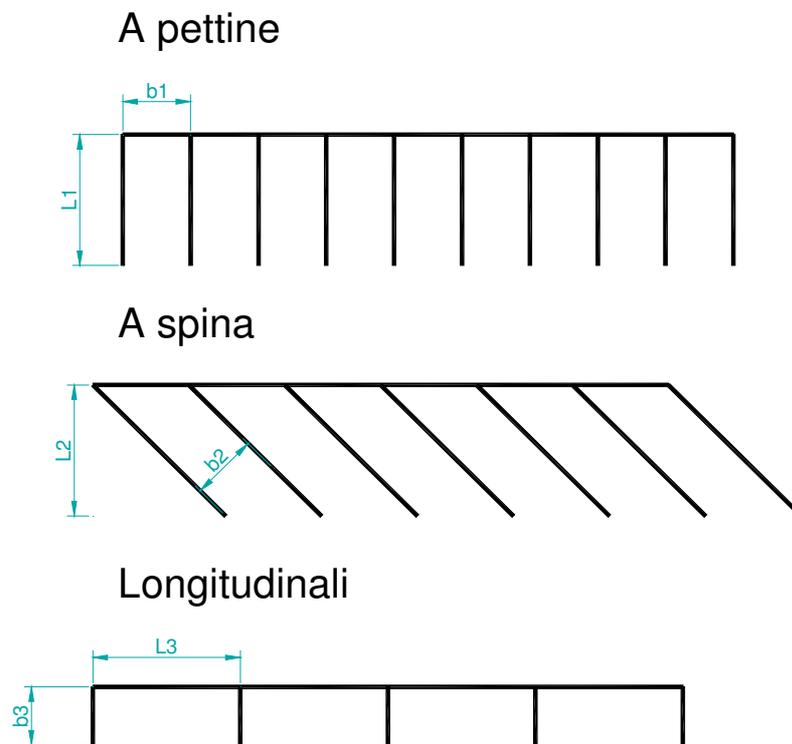


Figura 3 - Delimitazione degli stalli di sosta.

Il decreto riporta una serie di schede con rappresentate alcune delle possibili organizzazioni della piattaforma e l'intervallo di velocità di progetto associato al tipo di strada; non si tratta delle uniche soluzioni ammissibili: infatti, per incrementare la capacità della sezione stradale, il numero di corsie per senso di marcia può essere aumentato, senza richiedere particolari accorgimenti, fino a 4.

Si riportano a titolo di esempio le schede relative alle strade urbane di scorrimento, urbane di quartiere e urbane locali (Figura 4, Figura 5, Figura 6).

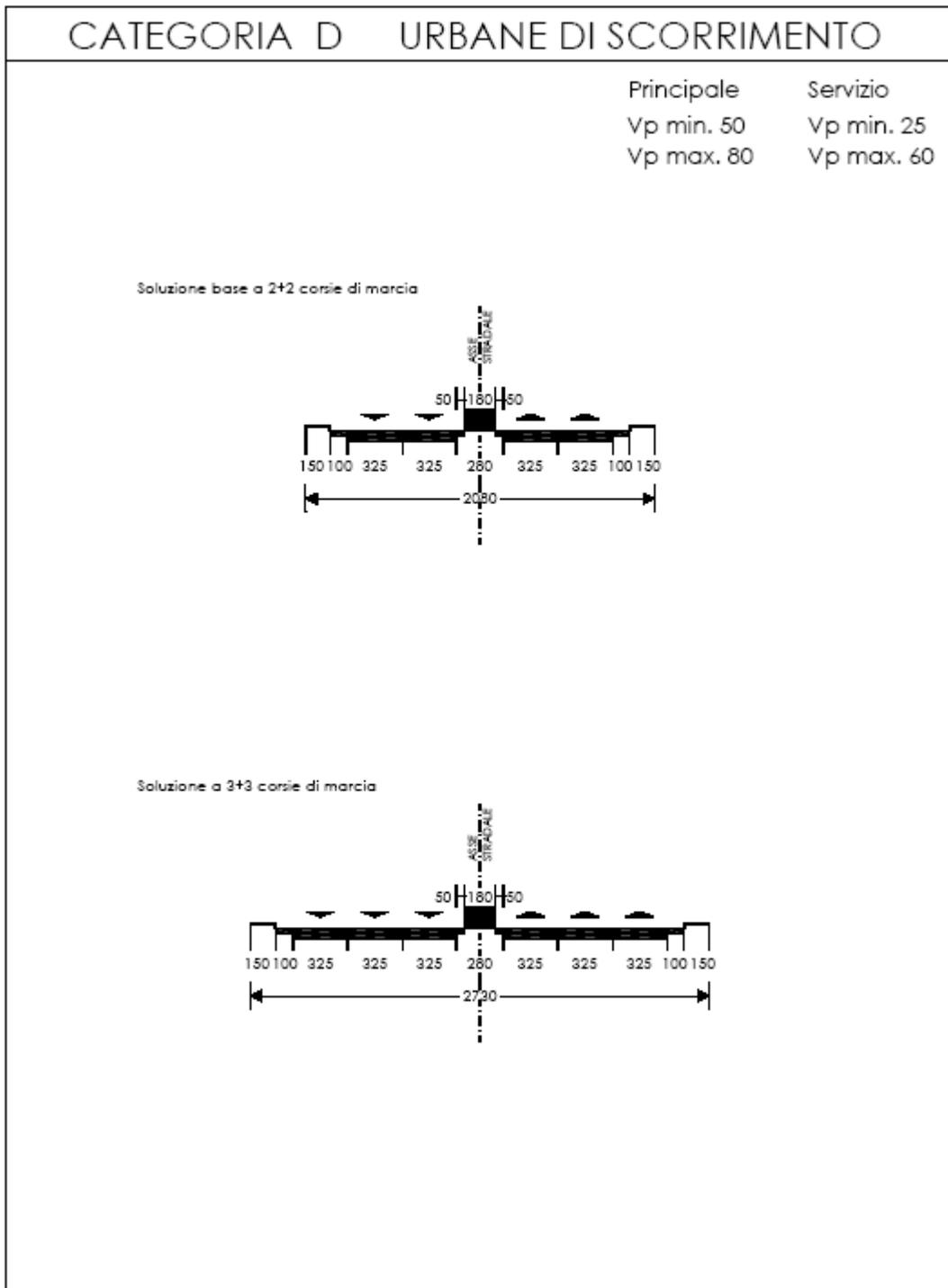


Figura 4 – Piattaforme tipo delle strade urbane di scorrimento.

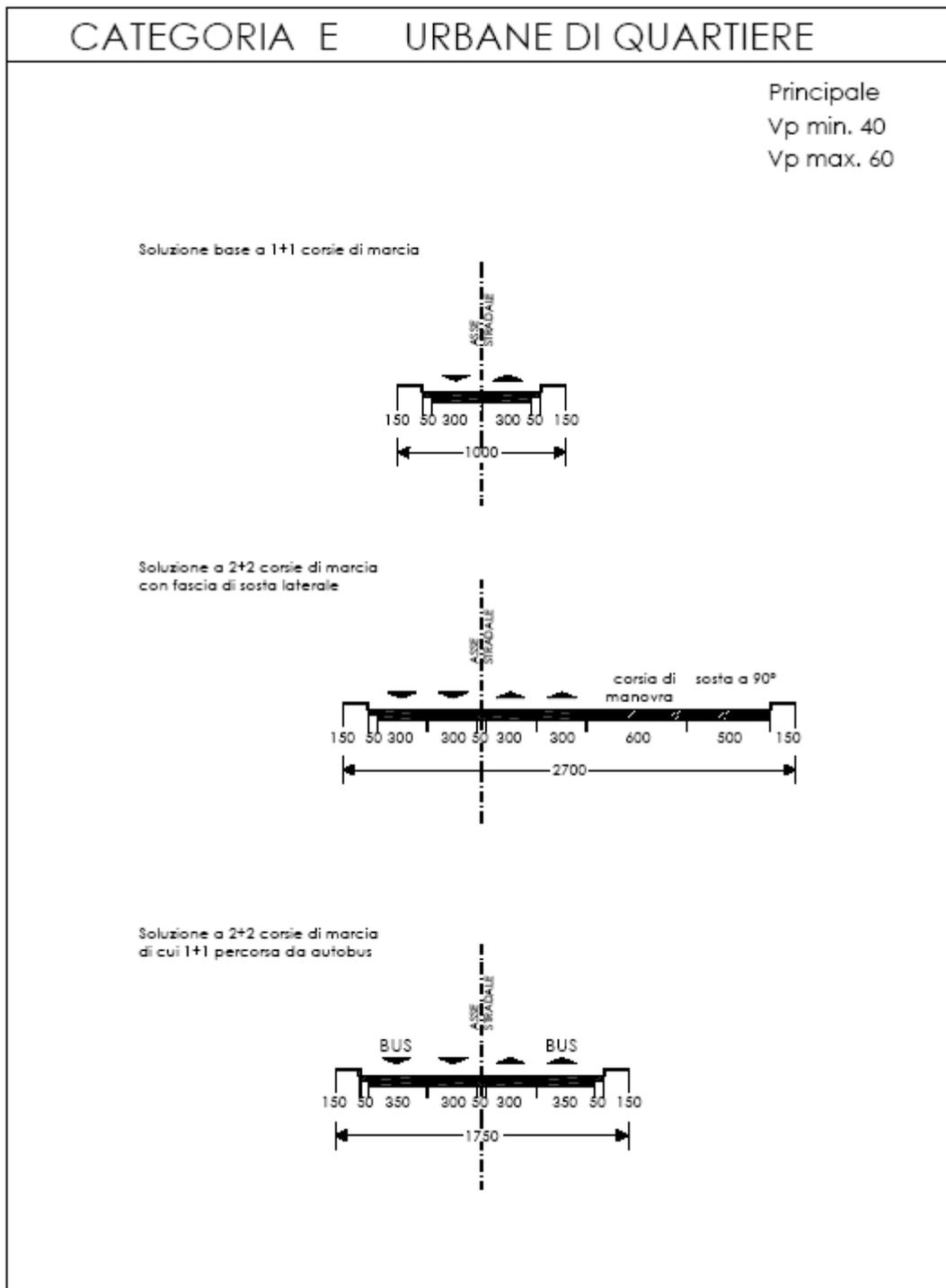


Figura 5 – Piattaforme tipo delle strade urbane di quartiere.

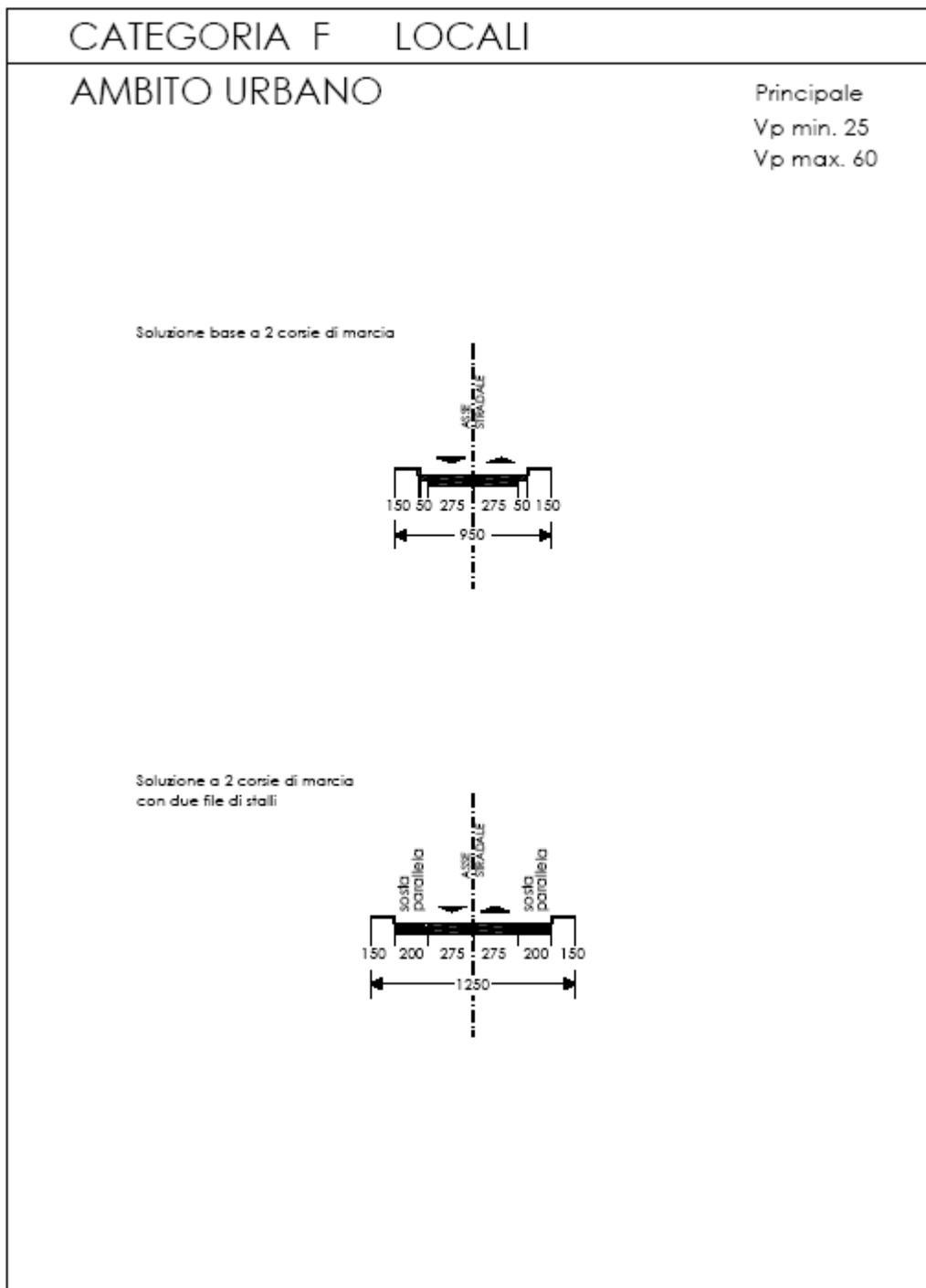


Figura 6 – Piattaforme tipo delle strade urbane locali.

1.6 ORGANIZZAZIONE DELLA SEDE STRADALE

1.6.1 Sezione stradale in sede artificiale

Sulle opere di scavalcamento (ponti, viadotti, sovrappassi) devono essere mantenute invariate le dimensioni degli elementi componenti la piattaforma stradale.

Nelle strade tipo E ed F in ambito urbano il marciapiede sarà delimitato verso la banchina da un ciglio non sormontabile sagomato (cordolo se marciapiede a raso), di altezza non superiore a 15 cm e con parapetto o barriera parapetto al limite esterno (Figura 7). Nel caso di carreggiate separate o indipendenti, il marciapiede deve essere disposto solo sul lato destro. Soluzioni

analoghe devono essere adottate in caso di corpi stradali in rilevato, delimitati da opere di sostegno a tutta altezza.

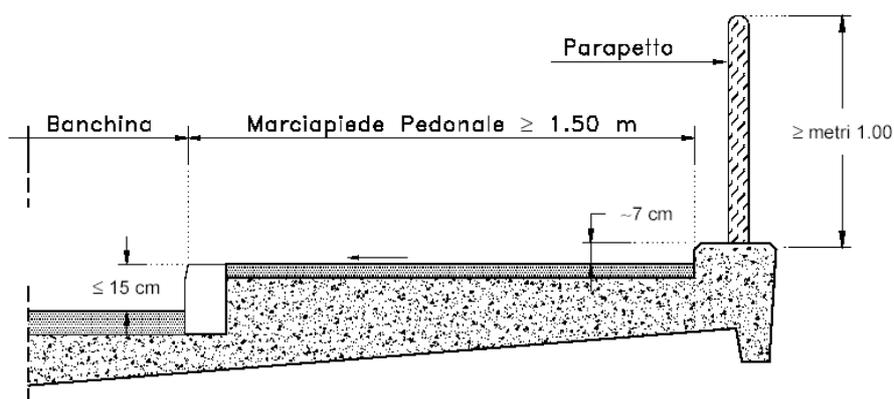


Figura 7 – Sistemazione del margine della piattaforma in viadotto nelle strade urbane.

Nei sottopassi (Figura 8) la piattaforma deve mantenere immutate le proprie dimensioni e composizione. Le strutture di sostegno dell'opera di scavalcamento dovranno essere previste al di fuori della piattaforma e comunque a distanza non inferiore a quella compatibile con il corretto funzionamento dei dispositivi di ritenuta.

Se la strada sottostante è di tipo D, E e F in ambito urbano occorrerà prevedere un marciapiede.

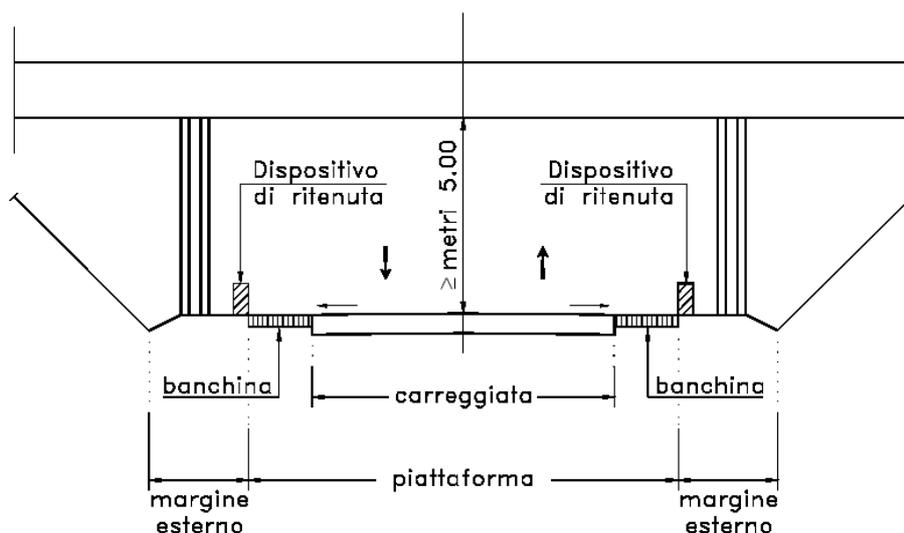


Figura 8 – Sezione stradale in sottopasso.

Le strutture orizzontali devono dar luogo ad un'altezza libera, misurata sulla verticale a partire da qualsiasi punto della carreggiata stradale sottostante, non inferiore a **5.00** metri. Nei casi previsti al par. 2.2 del D.M. 4.5.90 si potrà derogare dalla misura suddetta, adottando contemporaneamente opportuni dispositivi segnaletici di sicurezza (ad es. controsagome), posti a conveniente distanza dall'opera.

1.1.1.14 D.M. 04/05/1990 - Art 2.2 Altezza libera

Nel caso di ponte su strada ordinaria l'altezza libera non deve essere minore di 5 metri, in alcun punto, tenuto conto delle pendenze della strada sottostante.

Nei casi di strada a traffico selezionato e' ammesso, per motivi validi e comprovati, derogare da quanto sopra purché l'altezza minima non sia minore di 4 metri.

Eccezionalmente, ove l'esistenza di vincoli non eliminabili imponesse di scendere al di sotto della misura suddetta, si potrà realizzare un'altezza minima, in ogni caso non inferiore a m 3.20 a

condizione che in proposito esprimano il proprio parere favorevole i comandi militare e dei vigili del fuoco competenti per territorio.

In ogni caso in cui si deroghi alla prescritta altezza minima di 5 metri, si debbono adottare opportuni dispositivi segnaletici di sicurezza (ad es. controsagome) disposti a conveniente distanza dall' opera. Nel caso di sottopassaggi pedonali l'altezza libera non deve essere inferiore a m. 2.50.

1.6.2 Gallerie

Per le strade a carreggiate indipendenti o separate da spartitraffico (tipo A, B, D) devono prevedersi gallerie a doppio foro (Figura 9).

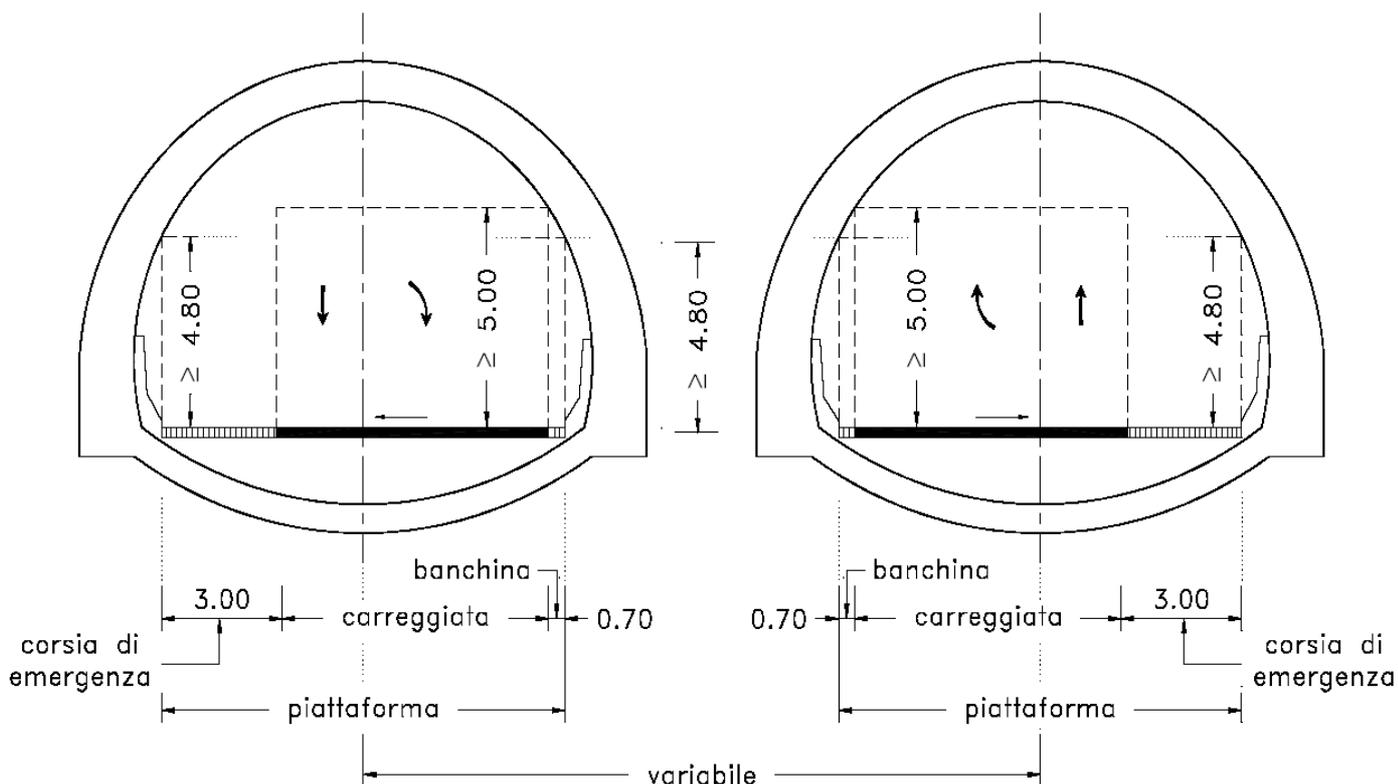


Figura 9 - Sezione stradale in galleria nelle strade a doppia carreggiata.

Per il tipo D dovrà essere previsto su ciascuna delle due carreggiate ed affiancato alla banchina in destra un marciapiede, di larghezza adeguata ma non minore di metri 1.50, protetto da dispositivo di ritenuta invalicabile (Figura 10).

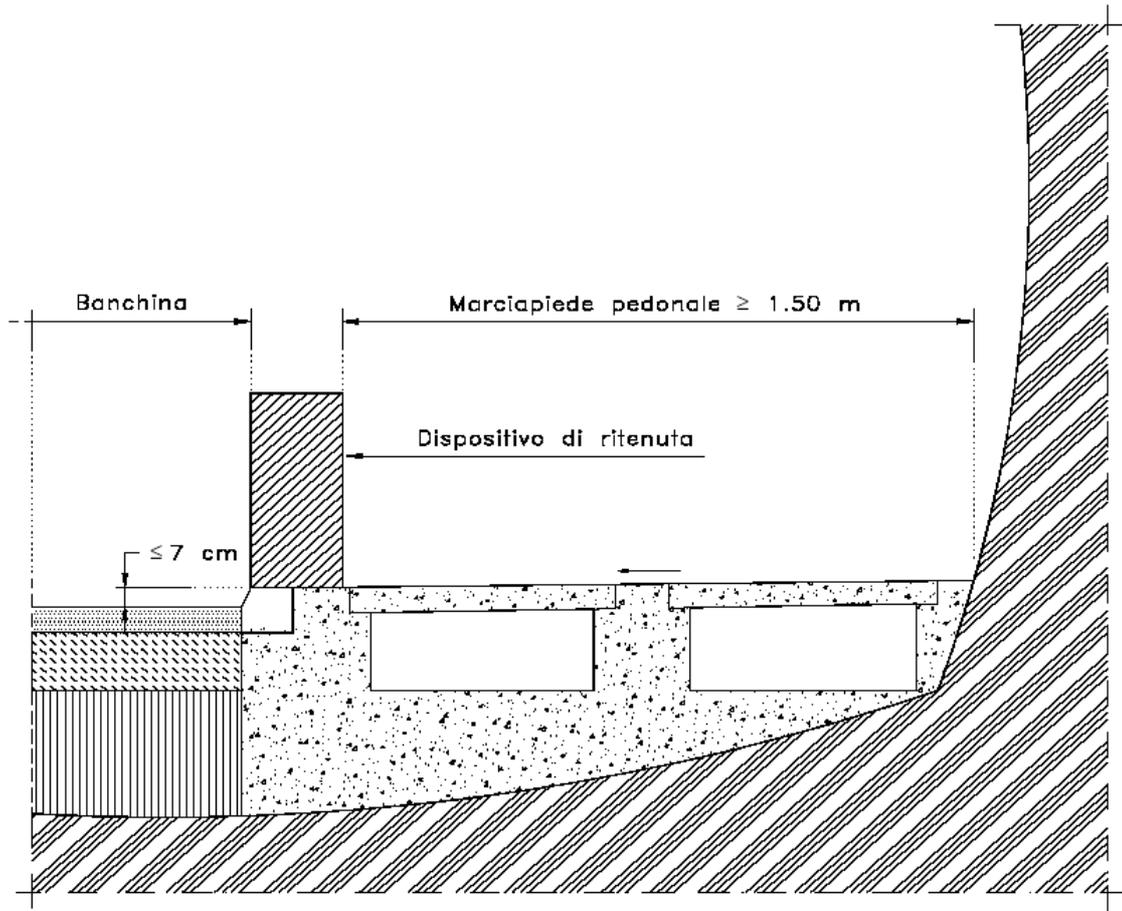


Figura 10 – Particolare del marciapiede e del dispositivo nelle sezioni in gallerie delle strade di tipo D.

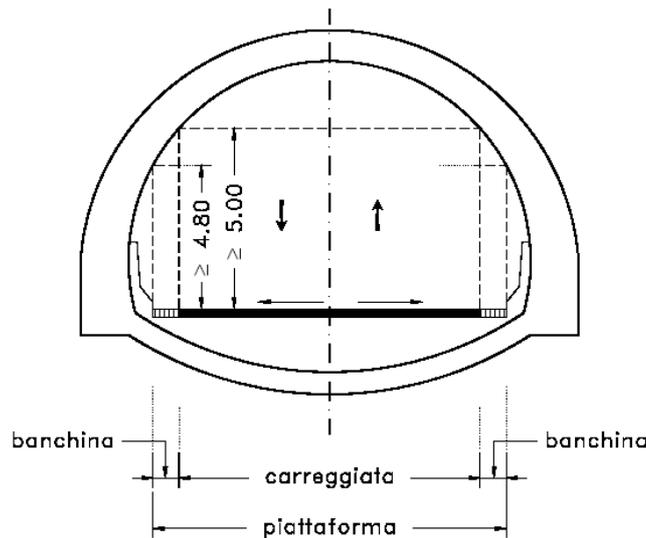


Figura 11 – Sezione stradale in galleria delle strade a singola carreggiata.

Per le strade tipo E e F in ambito urbano dovranno essere previsti, affiancati alle banchine (che conservano la dimensione di cui all'esterno), marciapiedi rialzati di larghezza adeguata ma non minore di metri 1.50, delimitati verso le banchine da un ciglio sagomato (o da un cordolo se il marciapiede è a raso), di altezza non superiore a 15 cm (Figura 12).

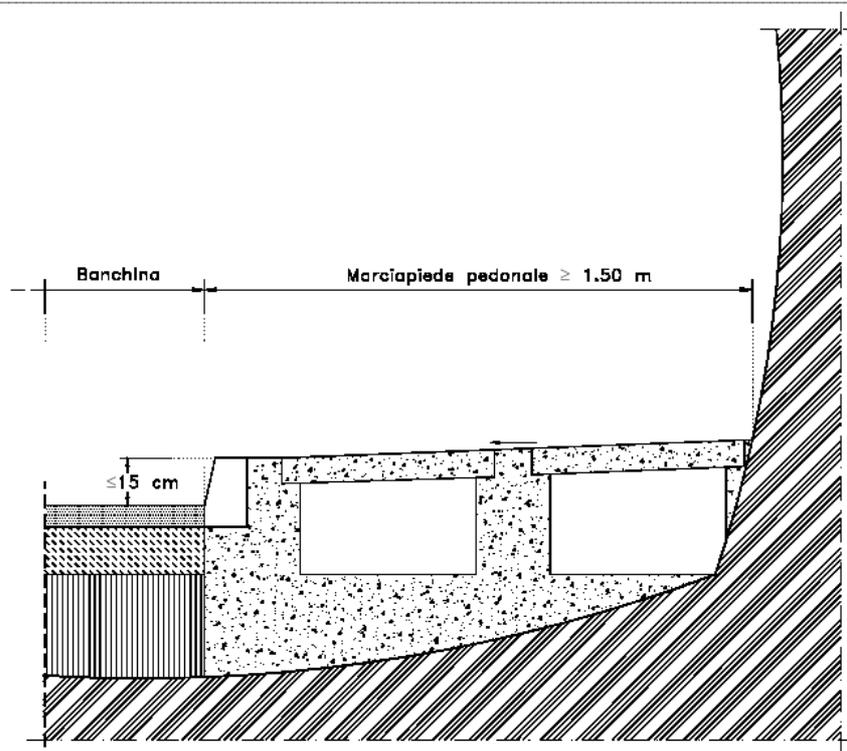


Figura 12 – Particolare del marciapiede in galleria.

In tutti i casi l'altezza libera nella galleria, misurata sulla verticale a partire da qualsiasi punto della piattaforma, non deve essere inferiore a metri 4.80. Nel caso di controsoffitto o di intradosso piano (galleria in artificiale) o di presenza di apparecchi sospesi, il franco libero in corrispondenza alla carreggiata non deve essere inferiore a metri 5,00, salvo il caso di strade a traffico selezionato con altezza di sagoma limite ridotta.

Nota:

E' opportuno verificare la presenza di un'altezza libera di 5 m in direzione perpendicolare alla piattaforma e non in verticale.

Le dimensioni delle banchine laterali in destra ed in sinistra si intendono come valori minimi, eventualmente da incrementare qualora le verifiche di visibilità ne dimostrino la necessità. Le superfici aggiuntive rispetto i valori minimi devono essere trattate per scoraggiarne l'utilizzo da parte degli utenti.

Per gallerie di lunghezza superiore a 1000 m devono essere previste piazzole di dimensioni minime 45 x 3 m con interdistanza di 600 m per ogni senso di marcia; nel caso di galleria a doppio senso di marcia le piazzole sui due lati devono essere sfalsate. Per gallerie a doppio fornice devono essere previsti collegamenti pedonali ogni 300 m e collegamenti per il passaggio di veicoli di soccorso o di servizio ogni 900 m.

Sono rinviati ad apposita normativa specifica tutti gli apprestamenti ulteriori di sicurezza attiva e passiva (illuminazione, ventilazione, sorveglianza, impianto antincendio, uscite di emergenza, cavedi di servizio, ecc.).

Nota:

La normativa specifica, che riguarda comunque solo le strade appartenenti alla rete transeuropea, è: "Decreto Legislativo 5 ottobre 2006, n. 264 - Attuazione della direttiva 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea.

1.6.3 Elementi marginali e di arredo della sede stradale

Nel caso di strade con carreggiate separate distanziate meno di 12 m, all'interno del margine devono essere collocati dispositivi di ritenuta invalicabili.

Le banchine in sinistra, oltre il limite interno della carreggiata, devono essere pavimentate, avere la medesima pendenza della carreggiata stessa.

Nella sistemazione sullo spartitraffico delle siepi anabbaglianti e dei dispositivi di ritenuta, occorre verificare che essi, nelle curve sinistrorse, non costituiscano ostacolo alla visibilità lungo la corsia più interna.

La norma definisce le dimensioni di diversi elementi marginali e di arredo della sede stradale: la striscia di delimitazione, il bordo della carreggiata, la pendenza trasversale della carreggiata in rettilo, la pendenza trasversale in banchina, la larghezza dell'arginello in rilevato, la lunghezza del raccordo, e altri dettagli (Figura 13 e Tabella 6).

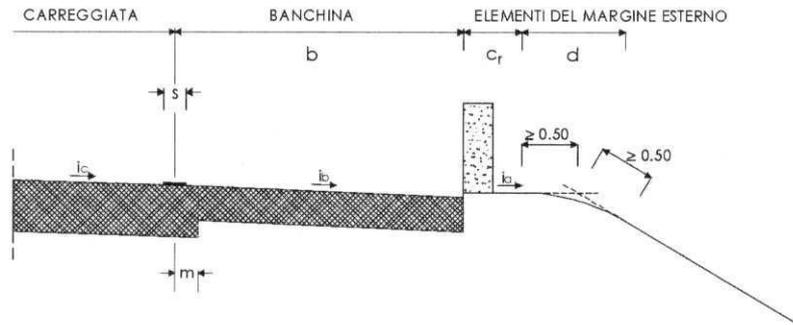


Fig. 4.3.4.a

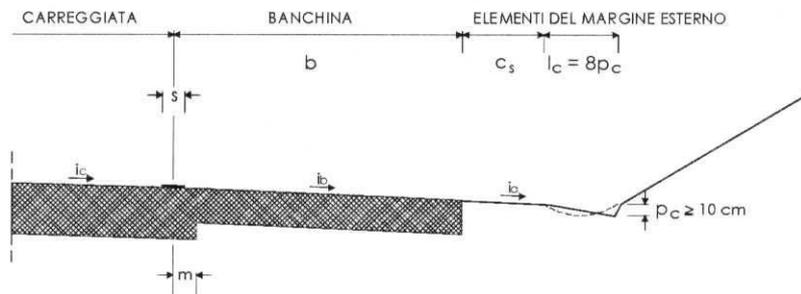


Fig. 4.3.4.b

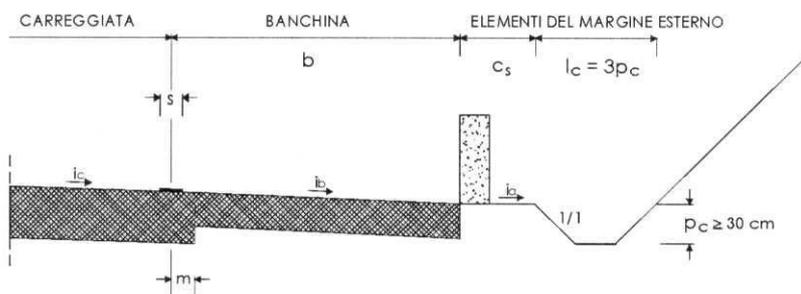


Fig. 4.3.4.c

Figura 13 – Caratteristiche geometriche degli elementi marginali e di arredo.

1.1.1.15 Arginelli e cunette

L'arginello deve avere un'altezza rispetto alla banchina di 5–10 cm e deve essere raccordato alla scarpata mediante un arco le cui tangenti siano di lunghezza non inferiore a 0.50 m (Figura 13).

Se la cunetta ha la conformazione indicata nello schema b di Figura 13, essa può essere accostata direttamente alla banchina senza l'interposizione di una barriera di sicurezza (come avviene invece nello schema c).

ELEMENTO	DENOMINAZIONE	STRADA	DIMENSIONE
s	striscia di delimitazione	A - B	0,25 m
		C - D - E	0,15 m
		F	0,12 m
m	bordo carreggiata	tutte	≥ 0,30 m
i _c	pendenza trasversale carreggiata in rettilo in curva	tutte	2,5 %
			≥ 2,5 %
i _b	pendenza trasversale banchina	tutte	= i _c
c _r	ciglio o arginello in rilevato	A - B - C - D	* ≥ 0,75 m
		E - F	≥ 0,50 m
d	raccordo	ove previsto	1,00 m
c _s	ciglio in scavo	ove previsto	come c _r
i _a	pendenza trasversale c _r e c _s	tutte	4 %
l _c	larghezza cunetta	tutte	≥ 0,80 m
p _c	profondità cunetta	tutte	vedi figure 4.3.4.b/c
b	banchina	vedi Tab. 3.4.a al Cap. 3	

Tabella 6 – Dimensioni degli elementi marginali e di arredo della sede stradale.

1.1.1.16 Dispositivi di ritenuta e altri elementi di arredo funzionale

La norma non fornisce specifiche indicazioni circa le barriere stradali di sicurezza in quanto la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle stesse è disciplinato dal D.M. n° 223 del 18/2/1992 e successive modificazioni ed integrazioni (in particolare il D.M. 2367 del 21/06/2004, la direttiva 3065 del 25/08/2004 e la Circolare prot 0062032 del 21-07-2010).

E' comunque compito del progettista stradale verificare che i margini interno, laterale ed esterno abbiano dimensioni sufficienti per consentire il corretto funzionamento delle barriere. In caso di necessità le dimensioni dei suddetti margini dovranno essere ampliate.

Analoghe verifiche e maggiorazioni dei margini dovranno essere previste per l'eventuale installazione di altri elementi di arredo funzionale (barriere antirumore, pali di illuminazione, portali per segnaletica, ecc.).

1.7 GEOMETRIA DELL'ASSE STRADALE

1.7.1 Distanze di visibilità

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.

Lungo il tracciato stradale la distanza di visuale libera deve essere confrontata con le seguenti distanze:

Distanza di visibilità per l'arresto, che è lo spazio minimo necessario affinché un conducente possa arrestare il veicolo in condizione di sicurezza davanti ad un ostacolo imprevisto.

Distanza di visibilità per il sorpasso, che è 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 di visibilità per la manovra di cambiamento di corsia, che è lo spazio occorrente per il passaggio da una corsia a quella ad essa adiacente nella manovra di deviazione in corrispondenza di punti singolari (intersezioni, uscite, ecc.).

Importante:

Le distanze di visibilità devono essere determinate in base alla velocità di progetto desunta puntualmente dal diagramma di velocità, non in base ai limiti di velocità imposti con la segnaletica o ai limiti generalizzati riguardanti il tipo di strada.

Se le verifiche di visibilità, e più in generale le verifiche sulla composizione dell'asse riportate nel seguito, non sono rispettate come comportarsi?

- nel progetto di nuove strade è necessario richiedere una deroga.
- nel progetto di adeguamento di una strada esistente è sufficiente dimostrare che si è cercato di seguire le prescrizioni del D.M. e che comunque l'intervento è migliorativo nei confronti dello stato di fatto (aumentano le distanze di visuale libera, la geometria dell'asse si avvicina maggiormente a quella stabilita dal D.M.).

1.1.1.17 Distanza di visibilità per l'arresto

La distanza di visibilità per l'arresto corrisponde alla somma dello spazio di reazione, ovvero dello spazio percorso dal veicolo mentre il conducente percepisce e reagisce, e dello spazio di frenatura. Essa si valuta con la seguente espressione:

$$D_a = D_1 + D_2 = \frac{V_0}{3.6} \tau - \frac{1}{3.6^2} \int_{V_0}^{V_1} \frac{V}{g \left(f_1(V) \pm \frac{i}{100} \right) + \frac{R_a(V)}{m} + r_0(V)} dV ;$$

dove:

D_1 = spazio percorso nel tempo di reazione;

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 [km/h];

V_1 = velocità finale del veicolo ($V_1 = 0$) [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 = coefficiente di aderenza longitudinale;

r_0 = resistenza unitaria al rotolamento, trascurabile ($r_0=0$) [N/kg].

Nota:

La formula della distanza di visibilità per l'arresto appare più articolata di quella proposta dalle norme C.N.R. precedenti; la formula infatti considera un tempo di reazione e una resistenza aerodinamica variabili con la velocità; inoltre lo spazio di frenatura non si valuta nell'ipotesi di decelerazione costante, bensì nel caso di decelerazione variabile in funzione della velocità; per tali motivi il calcolo della distanza di visibilità per l'arresto avviene attraverso un integrale avente come variabile la velocità.

Il tempo di reazione diminuisce al crescere della velocità, nell'assunzione che il guidatore al crescere della velocità aumenti l'attenzione:

$$\tau = (2.8 - 0.01 \cdot V).$$

La resistenza aerodinamica si valuta in base ad alcune ipotesi riguardanti il coefficiente aerodinamico, la superficie del veicolo, la massa. Si ottiene così:

$$\frac{R_a}{m} = 2.61 \cdot 10^{-5} V^2.$$

Nella tabella seguente sono riportati i valori del coefficiente di aderenza longitudinale che devono essere utilizzati per il calcolo delle distanze di visibilità per l'arresto sulle autostrade (strade tipo A) e sulle altre strade. Il coefficiente f_l diminuisce all'aumentare della velocità e assume valori maggiori nelle autostrade, in quanto si presuppone che in tali tipi di strada le pavimentazioni siano di migliore qualità e che la manutenzione venga effettuata con maggiore regolarità.

Nota:

I valori di f_l rappresentano l'aderenza disponibile su una superficie stradale leggermente bagnata (spessore del velo idrico di 0.5 mm). Sull'asciutto i coefficienti di aderenza sono decisamente maggiori ($f_l = 0.6 \div 0.8$) e quindi comportano distanze di visibilità per l'arresto inferiori. Pertanto ai fini della valutazione delle distanze di visibilità per l'arresto la pavimentazione viene considerata bagnata.

VELOCITA' km/h	25	40	60	80	100	120	140
f_l Autostrade	-	-	-	0.44	0.40	0.36	0.34
f_l Altre strade	0,45	0.43	0.35	0.30	0.25	0.21	-

Tabella 7 – Valori del coefficiente di aderenza longitudinale per le autostrade e per le altre strade.

In Figura 14 sono rappresentati i valori della distanza di visibilità per l'arresto in funzione della pendenza per diverse velocità di progetto nel caso di strade diverse dalle autostrade. Gli stessi valori sono riportati in Tabella 8.

Esempio:

Nel caso di strada urbana di tipo E o F, in un tratto pianeggiante ($i=0$) la distanza di visibilità per l'arresto da assicurare varia da 23 m in una curva di piccolo raggio ($V_p=25$ km/h), a 71 m in un tratto scorrevole dove la velocità di progetto raggiunge il suo massimo ($V_p=60$ km/h).

Si ricorda che la V_{pmax} è superiore di 10 km/h rispetto al limite di velocità stabilito dal Codice della Strada in ambito urbano, e che le verifiche di visibilità devono essere eseguite rispetto alla velocità di progetto e non rispetto al limite di velocità del Codice.

PER LE ALTRE STRADE

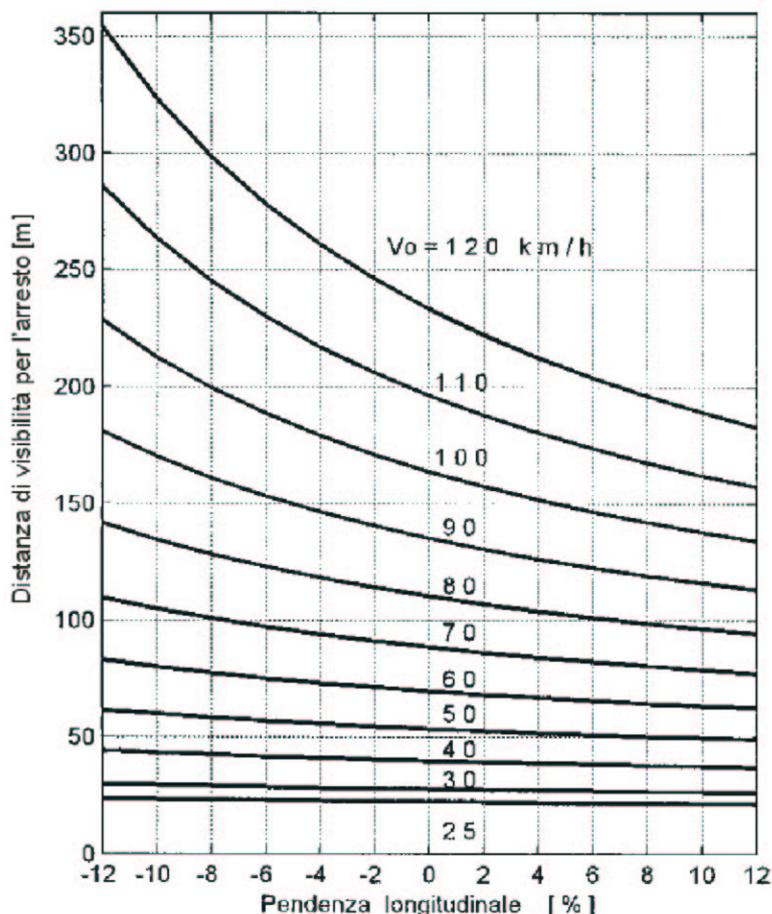


Figura 14 – Diagramma della distanza di visibilità per l’arresto in funzione della pendenza longitudinale e della velocità di progetto (valida per tutte le strade eccetto le autostrade).

Vp (km/h)	i (%)												
	-12	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10	12
25	25.14	24.71	24.34	24.00	23.69	23.41	23.16	22.93	22.72	22.52	22.34	22.17	22.01
30	31.56	30.94	30.40	29.91	29.47	29.06	28.70	28.36	28.06	27.77	27.51	27.27	27.04
35	38.50	37.66	36.91	36.23	35.63	35.07	34.57	34.11	33.69	33.30	32.94	32.61	32.30
40	46.01	44.89	43.89	43.00	42.19	41.46	40.79	40.19	39.63	39.12	38.64	38.20	37.80
45	54.22	52.76	51.46	50.30	49.26	48.31	47.45	46.66	45.94	45.28	44.67	44.10	43.58
50	63.33	61.44	59.77	58.27	56.93	55.72	54.62	53.62	52.70	51.86	51.08	50.37	49.70
55	73.55	71.11	68.97	67.06	65.35	63.81	62.41	61.15	59.99	58.93	57.96	57.05	56.22
60	84.98	81.86	79.12	76.70	74.54	72.60	70.86	69.27	67.83	66.51	65.30	64.18	63.15
65	97.61	93.67	90.22	87.19	84.50	82.10	79.94	77.99	76.21	74.59	73.10	71.74	70.48
70	111.55	106.62	102.35	98.60	95.29	92.35	89.70	87.32	85.16	83.20	81.40	79.75	78.23
75	126.98	120.87	115.61	111.02	106.99	103.41	100.21	97.34	94.74	92.38	90.23	88.25	86.44
80	143.70	136.24	129.86	124.32	119.46	115.17	111.35	107.93	104.85	102.05	99.50	97.17	95.03
85	162.42	153.34	145.60	138.93	133.11	127.99	123.45	119.39	115.74	112.44	109.44	106.70	104.20
90	182.90	171.92	162.63	154.66	147.75	141.69	136.33	131.56	127.28	123.43	119.93	116.74	113.83
95	205.54	192.32	181.22	171.75	163.58	156.45	150.16	144.59	139.60	135.11	131.06	127.37	124.00
100	230.70	214.81	201.57	190.36	180.74	172.37	165.04	158.55	152.76	147.57	142.89	138.64	134.76
105	257.98	239.06	223.43	210.27	199.02	189.30	180.80	173.31	166.65	160.69	155.32	150.46	146.04
110	288.21	265.72	247.29	231.88	218.79	207.52	197.71	189.09	181.45	174.63	168.51	162.98	157.95
115	321.05	294.49	272.91	254.99	239.85	226.87	215.63	205.77	197.07	189.31	182.36	176.10	170.42
120	357.12	325.85	300.67	279.90	262.45	247.57	234.72	223.50	213.62	204.84	196.99	189.92	183.53

Tabella 8 – Valori della distanza di visibilità per l’arresto in funzione della pendenza longitudinale e della velocità di progetto (valida per tutte le strade eccetto le autostrade).

1.1.1.18 Distanza di visibilita' per il sorpasso

La distanza di visibilità per il sorpasso corrisponde allo spazio percorso da un veicolo per eseguire la manovra di uscita, sorpassare il veicolo, eseguire la manovra di rientro:

$$D_s = 5.5V_p,$$

dove V_p è la velocità di progetto (km/h) desunta puntualmente dal diagramma di velocità.

In Tabella 9 sono riportati i valori della distanza di visibilità per il sorpasso in funzione della velocità di progetto.

V_p (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
D_s (m)	220	275	330	385	440	495	550	605	660	715	770

Tabella 9 - Valori della distanza di visibilità per il sorpasso in funzione della velocità di progetto.

Esempio:

Nel caso di strada urbana di tipo E o F, in un tratto scorrevole con $V_p=V_{pmax}=60$ km/h la distanza di visibilità per il sorpasso è di 330 m.

1.1.1.19 Distanza di visibilità per la manovra di cambiamento di corsia

La distanza di visibilità per il cambiamento di corsia corrisponde allo spazio necessario per percepire e riconoscere la situazione e per la decisione ed effettuazione della manovra di cambiamento di una sola corsia; il tempo per compiere tale manovra è stabilito in 9.5 secondi, da cui segue la formula:

$$D_c = 9.5v = 2.6V_p$$

dove V_p è la velocità di progetto (km/h) desunta puntualmente dal diagramma di velocità. In Tabella 10 sono riportati i valori della distanza di visibilità per il cambiamento di corsia in funzione della velocità di progetto.

V_p (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
D_s (m)	104	130	156	182	208	234	260	286	312	338	364

Tabella 10 - Valori della distanza di visibilità per il cambiamento di corsia in funzione della velocità di progetto.

Esempio:

Nel caso di strada urbana di tipo E o F, in un tratto scorrevole con $V_p=V_{pmax}=60$ km/h la distanza di visibilità per il cambiamento di corsia è di 156 m.

1.1.1.20 Modalità di esecuzione delle verifiche di visibilità

Ai fini delle verifiche 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.

Verifica di visibilità per l'arresto: la distanza di visibilità per l'arresto deve essere assicurata lungo l'intero tracciato di qualsiasi tipo di strada; l'ostacolo deve essere collocato ad un'altezza di 0.10 m al di sopra dell'asse della corsia.

Verifica di visibilità per il sorpasso: nelle strade extraurbane a singola carreggiata e due corsie, la distanza di visibilità per il sorpasso deve essere garantita sul 20% dello sviluppo del tracciato; l'ostacolo mobile deve essere collocato nella corsia opposta, con altezza pari a 1.10 m.

Attenzione: la verifica di visibilità per il sorpasso non ha significato nelle strade con doppia carreggiata monodirezionale, in quanto non ci sono veicoli provenienti in senso opposto.

Verifica di visibilità per il cambiamento di corsia: "In presenza di più corsie per senso di marcia nonché in corrispondenza di punti singolari (intersezioni, deviazioni ecc.) occorre assicurare la distanza di visibilità per la manovra di cambiamento di corsia". Per quanto riguarda la posizione dell'ostacolo la norma così recita: "...deve venir verificata la possibilità di vedere il limite più lontano della corsia adiacente a quella impegnata dal conducente".

Note:

- Secondo autorevoli interpretazioni della norma le frasi precedenti significano che la distanza di visibilità per il cambiamento di corsia deve essere assicurata solo quando alla carreggiata principale è affiancata una corsia di decelerazione, con punto di vista localizzato nella corsia adiacente alla corsia esterna e punto da osservare sulla striscia di separazione tra la carreggiata della strada principale e la corsia di decelerazione. L'altezza dell'ostacolo (h_2) resta indefinita: si può ipotizzare che il margine della corsia, materializzato con una striscia longitudinale, si trovi ad altezza 0, ma ciò risulta molto gravoso per il calcolo dei raggi verticali minimi; più di frequente si ipotizza $h_2=0.10$ m, ma non mancano società di progettazione che hanno adottato $h_2=1.10$ m, motivando la scelta con l'analogia tra la verifica di cambiamento di corsia e la verifica di sorpasso ridotta delle norme C.N.R. N. 78/80.

- Rispetto alle verifiche di visibilità previste dalle norme C.N.R. N. 78/80, nel D.M. 05/11/2001 non è presente una verifica di visibilità avente lo scopo di assicurare, qualora sia interdetto il sorpasso, il doppio della distanza di visibilità per l'arresto; con tale verifica le norme precedenti intendevano scongiurare uno scontro frontale tra un veicolo che prosegue correttamente nella propria corsia e un altro marciante in senso opposto che, eludendo la segnaletica, invade la stessa corsia.

In Figura 15, Figura 16 e Figura 17 sono rappresentate le modalità di esecuzione delle verifiche di visibilità per l'arresto, per il sorpasso e per il cambiamento di corsia.



Figura 15 - Schema per l'esecuzione della verifica di visibilità per l'arresto.



Figura 16 - Schema per l'esecuzione della verifica di visibilità per il sorpasso.



Figura 17 - Schema per l'esecuzione della verifica di visibilità per il cambiamento di corsia.

1.7.2 Andamento planimetrico dell'asse

Il tracciato planimetrico è costituito da una successione di rettifili, curve circolari e clotoidi, mentre quello altimetrico si articola in una successione di livellette e di raccordi verticali parabolici.

Tra rettifilo e curva, così come tra curva e curva è obbligatorio l'inserimento di clotoidi, qualsiasi sia il raggio delle curve o qualsiasi sia il tipo di strada (extraurbana o urbana).

Tutti gli elementi del tracciato, siano essi rettifili, clotoidi o curve circolari, per essere correttamente percepiti dall'utente devono avere uno sviluppo né troppo breve, né troppo grande.

1.1.1.21 Rettifili

Per evitare il superamento delle velocità consentite, la monotonia, la difficile valutazione delle distanze e per ridurre l'abbagliamento nella guida notturna i rettifili devono avere lunghezza non superiore a $22 V_{pmax}$ (V_{pmax} =velocità di progetto massima associata al tipo di strada).

Esempio:

Per le strade di tipo D e con $V_{pmax}=80$ km/h la lunghezza massima dei rettifili ammonta quindi a 1760 m; per le strade di tipo E e F con $V_{pmax}=60$ km/h la lunghezza massima dei rettifili è di 1200 m.

Un rettifilo, per poter esser percepito come tale dall'utente, deve avere una lunghezza minima commisurata alla velocità di progetto secondo la Tabella 11 La velocità di progetto deve essere desunta dal diagramma di velocità; si deve considerare la velocità massima raggiunta in rettifilo.

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

Tabella 11- Valori della lunghezza minima del rettifilo in funzione della velocità di progetto.

Nota:

Si tratta di un requisito molto difficile da rispettare.

Esempio:

La lunghezza minima del rettifilo può raggiungere i 50 m nel caso di strade di tipo E e F ($V_{pmax}=60$ km/h), e i 90 m nel caso di strade di tipo D ($V_{pmax}=80$ km/h).

1.1.1.22 Curve circolari

Una curva circolare, per essere correttamente percepita, deve avere uno sviluppo corrispondente ad un tempo di percorrenza di almeno 2.5 secondi valutato con riferimento alla velocità di progetto della curva. In Tabella 14 sono riportati i valori dello sviluppo minimo delle curve in funzione del raggio.

I rapporti tra i raggi R1 e R2 di due curve circolari che, con l'inserimento di un elemento a curvatura variabile, si succedono lungo il tracciato di strade di tipo D, sono regolati dall'abaco riportato in Figura 18 (la prescrizione non vale nel caso delle strade di tipo E e F urbane).

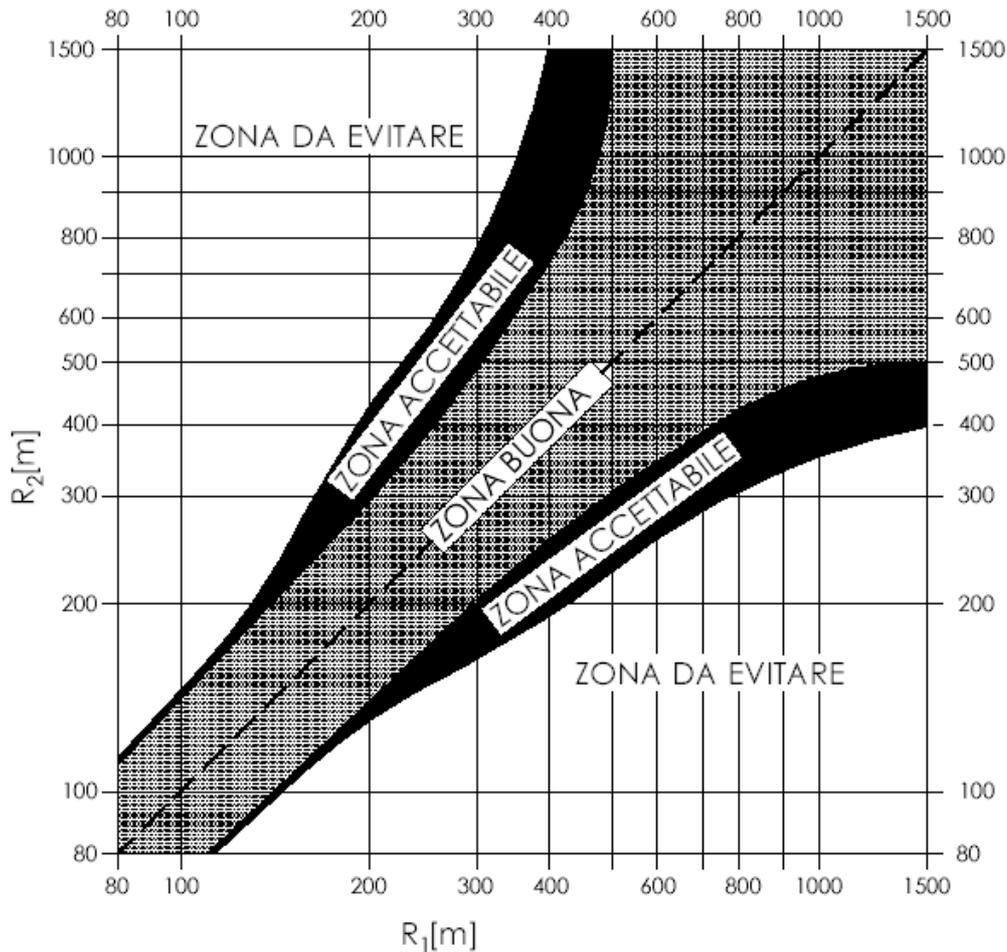


Figura 18 – Campo dei valori accettabili del raggio di due curve successive collegate da clotoidi di flesso o di continuità.

Tra un rettilo di lunghezza L_r e i raggi delle curve precedente e seguente deve essere rispettata la relazione:

$R > L_r$ per $L_r < 300$ m;

$R \geq 400$ m per $L_r \geq 300$ m.

Nota:

La prescrizione vale per ogni tipo di strada, quindi anche per le strade urbane!

1.1.1.23 Pendenze trasversali

La pendenza trasversale minima in rettilo, necessaria per l'allontanamento delle acque, è del 2.5%, qualsiasi sia il tipo di strada.

In curva la pendenza trasversale dipende dal raggio e dal tipo di strada; infatti ai differenti tipi di strada sono associati una velocità di progetto massima ($V_{p,max}$) e una pendenza trasversale massima ($p_{t,max}$).

La pendenza trasversale massima vale 7% per le strade di tipo A, B, C, F extraurbane, 5% per le strade di tipo D e 3.5 % per le strade di tipo E ed F urbane.

Dall'equazione di equilibrio del veicolo in curva si deduce la seguente relazione tra velocità di progetto (V_p), raggio della curva (R) e pendenza trasversale massima (q):

$$\frac{V_p^2}{127 \cdot R} = q + f_t$$

dove f_t è il coefficiente di aderenza trasversale, che dipende dalla velocità (decrece all'aumentare della velocità, e dal tipo di strada (i coefficienti sono diversi per gli ambiti extraurbano e urbano). I valori di f_t sono riportati in Tabella 12:

Velocità km/h	25	40	60	80	100	120	140
aderenza trasv. max imp. f_t max per strade tipo A, B, C, F extra urbane, e relative strade di servizio	-	0,21	0,17	0,13	0,11	0,10	0,09
aderenza trasv. max imp. f_t max per strade tipo D, E, F urbane, e relative strade di servizio	0,22	0,21	0,20	0,16	-	-	-

Tabella 12 – Valori del coefficiente di aderenza trasversale in funzione della velocità.

Nota:

I coefficienti di aderenza trasversale sono decisamente più bassi dei coefficienti di aderenza longitudinale (Tabella 7); nella realtà l'aderenza disponibile nelle due direzioni è simile. Le norme italiane, così come le norme di diversi Paesi, prevedono che le curve vengano dimensionate con coefficienti di aderenza trasversale ridotti in modo che una quota dell'aderenza resti disponibile per l'effettuazione di frenate di emergenza.

La relazione tra raggio, velocità di progetto e pendenza trasversale è rappresentata nel diagramma di Figura 19 (caso di strada urbana).

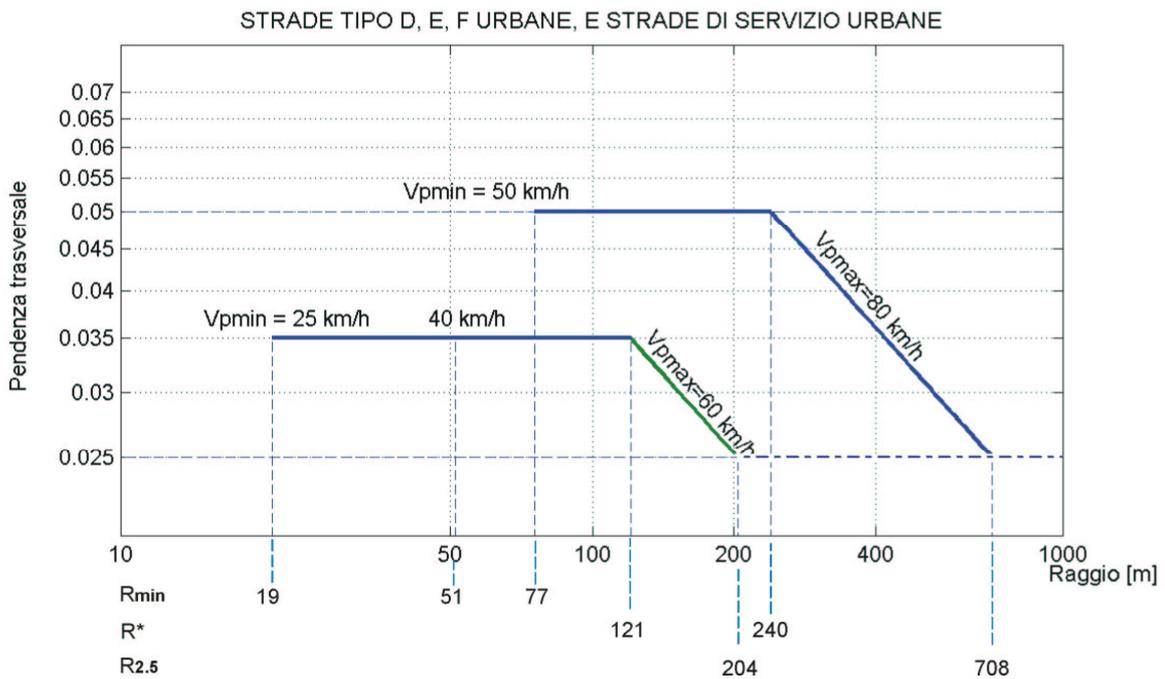


Figura 19 – Diagramma per la determinazione della pendenza trasversale e della velocità di progetto di una curva di assegnato raggio – caso delle strade urbane.

Finché il raggio risulta inferiore al raggio R^* corrispondente alla V_{pmax} , la pendenza trasversale viene posta pari al massimo (il 5% nel caso di strade di tipo D, il 3.5 % nelle strade di tipo E e F urbane), e la velocità di progetto si desume dall'equazione di equilibrio del veicolo sopra riportata; per raggi superiori la pendenza trasversale assume valori inferiori, mentre la velocità di progetto viene posta pari a V_{pmax} ; per raggi superiori a $R_{2.5}$ la piattaforma in curva assume una pendenza del 2.5 %; per raggi superiori a R' (riportati in Tabella 13) la piattaforma in curva mantiene la stessa sagoma che si ha in rettilineo.

STRADA TIPO	A	B	C F extraurbane	D	E F urbane
R' [m]	10250	7500	5250	2000	1150

Tabella 13 – Valori di R' per i diversi tipi di strada.

Esempio:

Per le strade tipo D con $V_{pmax}=80$ km/h si ha:

per $R < R^* = 240$ m, $pt=5\%$, $V_p < V_{pmax}$ desunta dall'equazione di equilibrio;

per $R^* = 240$ m $< R < R_{2.5} = 708$ m; $2.5\% < pt < 5\%$, $V_p = V_{pmax}$;

per $R_{2.5} = 708$ m $< R < R' = 2000$ m; $pt=2.5\%$, $V_p = V_{pmax}$;

per $R > R' = 2000$ m; $pt=-2.5\%$, $+2.5\%$, $V_p = V_{pmax}$.

Per le strade di tipo E ed F urbane con $V_{pmax}=60$ km/h si ha:

per $R < R^* = 121$ m, $pt=3.5\%$, $V_p < V_{pmax}$ desunta dall'equazione di equilibrio;

per $R^* = 121$ m $< R < R_{2.5} = 204$ m; $2.5\% < pt < 3.5\%$, $V_p = V_{pmax}$;

per $R_{2.5} = 204$ m $< R < R' = 1150$ m; $pt=2.5\%$, $V_p = V_{pmax}$;

per $R > R' = 1150$ m; $pt=-2.5\%$, $+2.5\%$, $V_p = V_{pmax}$.

In Tabella 14 con riferimento alle strade tipo D, E e F sono riportati per diversi valori del raggio, i valori della velocità di progetto (V_p), della pendenza trasversale (p_t) e dello sviluppo minimo della curva (S_{vmin}).

Attenzione:

Nel caso di strade di nuova costruzione la norma non ammette combinazioni di raggio e di pendenza trasversale diverse da quelle riportate in Tabella 14; non è quindi consentita la riduzione della pendenza trasversale allo scopo di diminuire la velocità di progetto di una determinata curva (diversi progettisti vorrebbero utilizzare tale possibilità in modo da rendere positive le verifiche sulla composizione dell'asse o sulle variazioni di velocità di progetto).

Nota:

Nel caso di adeguamento di strade esistenti è consigliabile utilizzare la velocità di progetto desunta dalla Figura 19 o dalla Tabella 14 esclusivamente in base al raggio della curva anche se la pendenza trasversale è inferiore a quanto stabilito dalla norma. Infatti diversi studi hanno dimostrato che i guidatori regolano la velocità soprattutto in base al raggio di curvatura: l'entità della pendenza trasversale o della visuale libera disponibile (tranne i casi in cui essa si riduce notevolmente) sono fattori che non vengono percepiti dal conducente.

Nel caso si analizzino tracciati di strade urbane esistenti e si vuole stabilire o controllare la velocità massima che può essere consentita su una determinata curva (per valutazioni rapide o per contenziosi), la Tabella 15 fornisce per una strada urbana i valori della velocità di equilibrio corrispondenti a differenti combinazioni di raggio e pendenza trasversale; i valori di V_p vengono determinati con la seguente formula, dedotta dall'equilibrio dell'autoveicolo in curva:

$$V_p = \sqrt{127 \cdot R \cdot [q + f_t(V_p)]}$$

In tabella sono stati riportati anche valori della velocità di equilibrio superiori a quelli consentiti dal Codice della Strada per le strade urbane. In ogni caso non sono state indicate velocità massime superiori a 140 km/h.

Tabella per strade urbane di scorrimento (D)

R (m)	pt (%)	Vp (km/h)	Svmin (m)
80	5.00	50.9	35.32
90	5.00	53.8	37.35
100	5.00	56.5	39.27
125	5.00	62.4	43.32
150	5.00	67.0	46.56
175	5.00	71.1	49.41
200	5.00	74.8	51.94
250	4.87	80.0	55.56
300	4.33	80.0	55.56
350	3.93	80.0	55.56
400	3.60	80.0	55.56
450	3.34	80.0	55.56
500	3.12	80.0	55.56
600	2.78	80.0	55.56
700	2.52	80.0	55.56
800	2.50	80.0	55.56
900	2.50	80.0	55.56
1000	2.50	80.0	55.56
1500	2.50	80.0	55.56
2000	-2.50	80.0	55.56
3000	-2.50	80.0	55.56
4000	-2.50	80.0	55.56
5000	-2.50	80.0	55.56

Tabella per strade urbane di quartiere e locali (E, F)

R (m)	pt (%)	Vp (km/h)	Svmin (m)
20	3.50	25.4	17.66
30	3.50	30.9	21.48
40	3.50	35.5	24.65
50	3.50	39.5	27.41
60	3.50	43.1	29.91
70	3.50	46.4	32.20
80	3.50	49.4	34.31
90	3.50	52.3	36.29
100	3.50	54.9	38.14
125	3.42	60.0	41.67
150	3.04	60.0	41.67
175	2.75	60.0	41.67
200	2.53	60.0	41.67
250	2.50	60.0	41.67
300	2.50	60.0	41.67
350	2.50	60.0	41.67
400	2.50	60.0	41.67
450	2.50	60.0	41.67
500	2.50	60.0	41.67
600	2.50	60.0	41.67
700	2.50	60.0	41.67
800	2.50	60.0	41.67
900	2.50	60.0	41.67
1000	2.50	60.0	41.67
1500	-2.50	60.0	41.67
2000	-2.50	60.0	41.67
3000	-2.50	60.0	41.67

Tabella 14 – Relazione tra raggio, pendenza trasversale, velocità di progetto, sviluppo minimo di una curva circolare per le strade di tipo D e le strade di tipo E, F urbane.

R (m)	pt (%)									
	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7
40	34.8	35.2	35.5	35.8	36.2	36.5	36.8	37.2	37.5	37.8
50	38.7	39.1	39.5	39.9	40.2	40.6	41.0	41.4	41.7	42.1
60	42.2	42.6	43.1	43.5	43.9	44.3	44.7	45.1	45.5	45.9
70	45.4	45.9	46.4	46.8	47.3	47.7	48.2	48.6	49.0	49.5
80	48.4	48.9	49.4	49.9	50.4	50.9	51.3	51.8	52.3	52.7
90	51.2	51.7	52.3	52.8	53.3	53.8	54.3	54.8	55.3	55.8
100	53.8	54.4	54.9	55.5	56.0	56.5	57.1	57.6	58.1	58.6
125	59.8	60.3	60.8	61.4	61.9	62.4	62.9	63.4	63.9	64.4
150	64.2	64.8	65.4	65.9	66.5	67.0	67.6	68.1	68.7	69.2
175	68.1	68.7	69.4	70.0	70.6	71.1	71.7	72.3	72.9	73.5
200	71.6	72.3	72.9	73.6	74.2	74.8	75.4	76.1	76.7	77.3
250	77.6	78.3	79.1	79.8	80.7	81.7	82.6	83.6	84.5	85.5
300	84.0	85.1	86.2	87.3	88.4	89.4	90.5	91.6	92.6	93.6
350	90.7	91.9	93.1	94.3	95.5	96.6	97.8	98.9	100.0	101.1
400	96.9	98.2	99.5	100.8	102.0	103.3	104.5	105.7	106.9	108.1
450	102.8	104.2	105.6	106.9	108.2	109.6	110.8	112.1	113.4	114.6
500	108.4	109.8	111.3	112.7	114.1	115.5	116.8	118.2	119.5	120.9
600	118.7	120.3	121.9	123.5	125.0	126.5	128.0	129.5	130.9	132.4
700	128.2	130.0	131.7	133.3	135.0	136.6	138.3	139.8	140.0	140.0
800	137.1	138.9	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0
900	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0
1000	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0
1500	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0
2000	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0
3000	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0
4000	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0
5000	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0

Tabella 15 – Velocità di progetto di curve appartenenti a strade urbane esistenti, con raggio e pendenza trasversale noti.

1.1.1.24 Clotoidi

Le clotoidi sono curve a raggio variabile che vengono utilizzate nei tracciati stradali con i seguenti scopi:

- ridurre l'effetto della variazione dell'accelerazione centrifuga (contraccolpo);
- consentire la rotazione graduale della sagoma con pendenza limitata dei cigli;
- favorire la corretta percezione della curvatura dell'asse.

La clotoide ha la seguente equazione intrinseca:

$$\frac{1}{r} = \frac{s}{A^2}.$$

dove r = raggio, s = ascissa curvilinea.

Le dimensioni di una clotoide dipendono dal parametro di scala A. Le norme prevedono 4 verifiche sul parametro A, tre riguardano il valore minimo di A, una il valore massimo.

Nota:

L'inserimento delle clotoidi nei tracciati stradali è obbligatorio qualsiasi sia il tipo di strada, quindi anche in ambito urbano.

1.1.1.25 Verifica del contraccolpo:

$$A \geq 0.021V^2;$$

dove V è la massima velocità di progetto desunta lungo la clotoide in base al diagramma di velocità.

Nota:

La norma riporta anche una formula più articolata che considera l'effetto della rotazione della sagoma. Tale formula può risultare molto utile nelle curve di piccolo raggio (indicativamente per $R < 250-300$ m), dove l'impiego della formula sopra riportata conduce facilmente a situazioni di inapplicabilità della norma. La formula è:

$$A \geq \sqrt{\frac{v^3}{C_{\max}} - \frac{gv(q_f - q_i)R}{C_{\max}}};$$

dove q_f e q_i sono le pendenze trasversali iniziale e finale, v è la velocità di progetto in m/s e $C_{\max} = 14/v$.

1.1.1.26 Verifica dei cigli

$$A \geq \sqrt{\frac{R}{\Delta i_{\max}} 100 \cdot B \cdot (q_i + q_f)};$$

dove Δi_{\max} è la sovrappendenza massima del ciglio (funzione della velocità di progetto), B è il braccio di rotazione della sagoma, q_i e q_f sono le pendenze trasversali all'inizio e alla fine della clotoide.

1.1.1.27 Verifica ottica per la percezione della clotoide

$$A \geq \frac{R}{3};$$

1.1.1.28 Verifica ottica per la percezione della curva

$$A < R.$$

In Tabella 16 e in Tabella 17 sono riportati i valori dei parametri minimo (A_{min}) e massimo (A_{max}) della clotoide in funzione del raggio della curva circolare; si considerano i casi di clotoide inserita tra rettilineo e curva circolare di strade di tipo D, E e F urbane. I valori di A_{min} sono calcolati per differenti velocità di progetto, dal momento che in fase di progettazione la velocità di progetto della clotoide non è nota: essa deve essere infatti desunta dal diagramma di velocità, che può essere determinato solo quando è stato definito l'intero tracciato. In altri termini la velocità di progetto della clotoide dipende non solo dalla velocità di progetto della curva, ma anche dalla velocità di progetto delle curve precedente e seguente, nonché dalla distanza tra le curve. In linea generale il dimensionamento della clotoide dovrebbe essere eseguito con velocità prossime a quella della curva (V_p+5 , V_p+10 km/h) se le curve precedente e seguente sono vicine; se le curve sono più lontane il dimensionamento dovrebbe essere effettuato riferendosi alle velocità più alte (V_p+15). Velocità di progetto maggiori di quelle indicate (V_p+20 , V_p+25 km/h) si determinano in casi che facilmente risultano fuori norma (rettilinei troppo lunghi in relazione ai raggi di curvatura, eccessive differenze di velocità di progetto tra curve successive).

Le caselle vuote corrispondono a situazioni non a norma: parametro della clotoide che supera A_{max} , o velocità di progetto che supera V_{pmax} .

Importante:

Una volta definito il tracciato dovrà essere verificato che il parametro A della clotoide superi A_{min} calcolato in base alla velocità di progetto desunta dal diagramma di velocità.

R (m)	curva		clotoide: dimensionamento per $V_p > V_p$ della curva				
	V_p (km/h)	pt (%)	V_p A_{min}	V_p+5 A_{min}	V_p+10 A_{min}	V_p+15 A_{min}	A_{max}
80	50.9	5.0	54.3	65.5	77.8	...	80.0
90	53.8	5.0	60.8	72.6	85.4	...	90.0
100	56.5	5.0	67.1	79.5	93.0	...	100.0
125	62.4	5.0	81.7	95.3	110.0	...	125.0
150	67.0	5.0	94.4	109.0	124.7	...	150.0
175	71.1	5.0	106.3	121.8	...	...	175.0
200	74.8	5.0	117.5	133.7	...	...	200.0
250	80.0	4.9	134.4	...	...	...	250.0
300	80.0	4.3	134.4	...	...	...	300.0
350	80.0	3.9	134.4	...	...	...	350.0
400	80.0	3.6	134.4	...	...	...	400.0
450	80.0	3.3	150.0	...	...	...	450.0
500	80.0	3.1	166.7	...	...	...	500.0
600	80.0	2.8	200.0	...	...	...	600.0
700	80.0	2.5	233.3	...	...	...	700.0
800	80.0	2.5	266.7	...	...	...	800.0
900	80.0	2.5	300.0	...	...	...	900.0
1000	80.0	2.5	333.3	...	...	...	1000.0
1500	80.0	2.5	500.0	...	...	...	1500.0
2000	80.0	-2.5	666.7	...	...	...	2000.0
3000	80.0	-2.5	1000.0	...	...	...	3000.0
4000	80.0	-2.5	1333.3	...	...	...	4000.0
5000	80.0	-2.5	1666.7	...	...	...	5000.0

Tabella 16 – Parametri minimi e massimi della clotoide – caso di strade tipo D.

R (m)	curva		clotoide: dimensionamento per $V_p > V_p$ della curva				
	V_p (km/h)	pt (%)	V_p Amin	V_{p+5} Amin	V_{p+10} Amin	V_{p+15} Amin	Amax
20	25.4	3.5	13.6	19.5	...	...	20.0
30	30.9	3.5	20.1	27.1	...	...	30.0
40	35.5	3.5	26.5	34.4	...	...	40.0
50	39.5	3.5	32.7	41.5	...	...	50.0
60	43.1	3.5	39.0	48.5	59.2	...	60.0
70	46.4	3.5	45.1	55.4	66.7	...	70.0
80	49.4	3.5	51.3	62.2	74.1	...	80.0
90	52.3	3.5	57.3	68.8	...	...	90.0
100	54.9	3.5	63.4	75.4	...	...	100.0
125	60.0	3.4	75.6	...	...	...	125.0
150	60.0	3.0	75.6	...	...	...	150.0
175	60.0	2.8	75.6	...	...	...	175.0
200	60.0	2.5	75.6	...	...	...	200.0
250	60.0	2.5	83.3	...	...	...	250.0
300	60.0	2.5	100.0	...	...	...	300.0
350	60.0	2.5	116.7	...	...	...	350.0
400	60.0	2.5	133.3	...	...	...	400.0
450	60.0	2.5	150.0	...	...	...	450.0
500	60.0	2.5	166.7	...	...	...	500.0
600	60.0	2.5	200.0	...	...	...	600.0
700	60.0	2.5	233.3	...	...	...	700.0
800	60.0	2.5	266.7	...	...	...	800.0
900	60.0	2.5	300.0	...	...	...	900.0
1000	60.0	2.5	333.3	...	...	...	1000.0
1500	60.0	-2.5	500.0	...	...	...	1500.0
2000	60.0	-2.5	666.7	...	...	...	2000.0
3000	60.0	-2.5	1000.0	...	...	...	3000.0

Tabella 17 – Parametri minimi e massimi della clotoide – caso di strade tipo E e F urbane.

In Figura 20 sono riassunte le modalità di inserimento della clotoide tra rettilo e curva e tra curva e curva; sono anche rappresentati i casi da evitare.

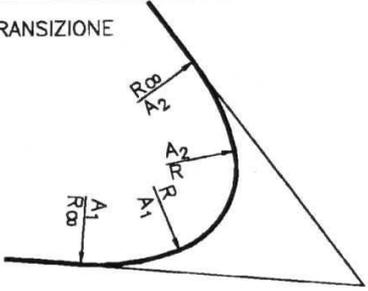
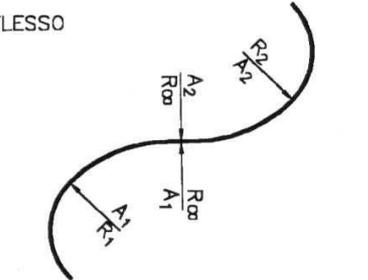
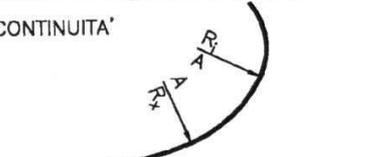
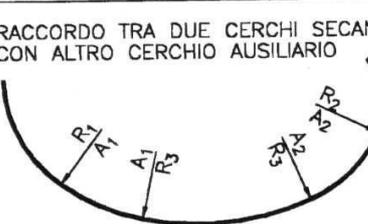
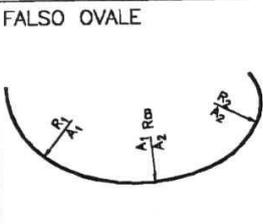
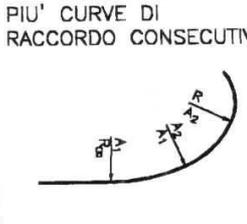
TIPOLOGIA	LIMITI	
<p>TRANSIZIONE</p> 	$A_1 \geq A_{min}$ $A_2 \geq A_{min}$ $\frac{R}{3} \leq A_1 \leq R$ $\frac{R}{3} \leq A_2 \leq R$ $\frac{2}{3} \leq \frac{A_1}{A_2} \leq \frac{3}{2}$	
<p>FLESSO</p> 	$R_2 < R_1 \quad A_1 \geq A_{min} \quad A_2 \geq A_{min}$ <p>FLESSO ASIMMETRICO $A_1 \neq A_2$</p> $\frac{R_1}{3} \leq A_1 \leq R_1 \quad \frac{R_2}{3} \leq A_2 \leq R_2 \quad \frac{2}{3} \leq \frac{A_1}{A_2} \leq \frac{3}{2}$ <p>FLESSO SIMMETRICO $A_1 = A_2 = A$</p> $\frac{R_1}{3} \leq A \leq R_2$	
<p>CONTINUITA'</p> 	$R_x < R_1 \quad R_x \text{ all'interno di } R_1 \text{ ma non concentrico}$ $A_{min} \leq A$ $\frac{R_1}{3} \leq A \leq R_x$	
<p>RACCORDO TRA DUE CERCHI SECANTI CON ALTRO CERCHIO AUSILIARIO</p> 	$A_1 \geq A_{min} \quad A_2 \geq A_{min}$ $\frac{R_3}{3} \leq A_1 \leq R_1$ $\frac{R_3}{3} \leq A_2 \leq R_2$ $\frac{2}{3} \leq \frac{A_1}{A_2} \leq \frac{3}{2}$	
<p>CASI DA EVITARE</p>		
<p>TRANSIZIONE SENZA IL CERCHIO</p> 	<p>FALSO OVALE</p> 	<p>PIU' CURVE DI RACCORDO CONSECUTIVE</p> 

Figura 20 – Modalità di inserimento delle clotoidi e casi da evitare.

1.1.1.29 Pendenze trasversali nelle curve a raggio variabile

Lungo le curve a raggio variabile la piattaforma ruota; con riferimento alla Figura 21 la rotazione può avvenire attorno all'asse (casi a e b in figura) o attorno al margine interno della carreggiata (caso c).

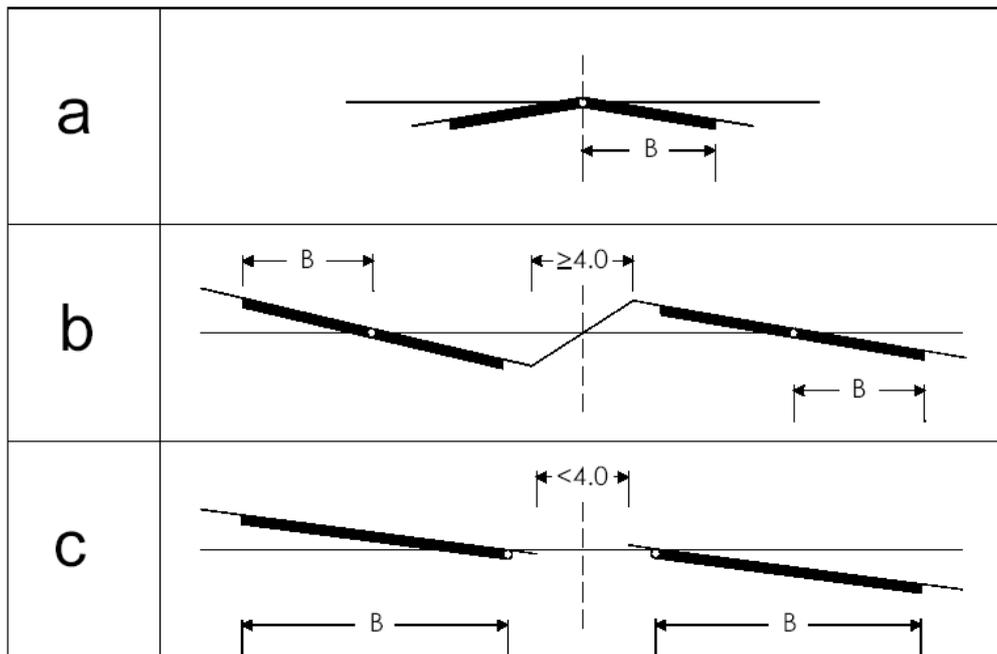


Figura 21 – Posizione dell’asse di rotazione e bracci.

Il passaggio dalla sagoma del rettilineo a quella della curva circolare avviene in due tempi (Figura 22): in una prima fase ruota soltanto la falda esterna intorno all’asse della carreggiata fino a realizzare una superficie piana, successivamente ruota l’intera carreggiata, sempre intorno al suo asse.

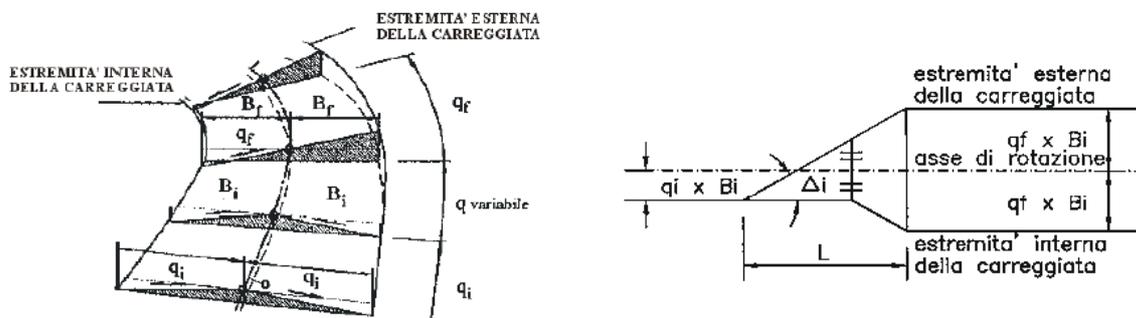


Figura 22 – Fasi della rotazione della sagoma.

In curva gli elementi che fiancheggiano la carreggiata (banchine, corsie di emergenza, corsie specializzate, piazzole di sosta) hanno pendenza uguale e concorde a quella della carreggiata.

1.1.1.30 Valori massimi e minimi della sovrappendenza del ciglio

Per limitare la velocità di rollio la sovrappendenza longitudinale delle estremità della carreggiata non può superare il valore massimo che si calcola con la seguente espressione:

$$\Delta i_{\max} = \frac{dq}{dt} \frac{B}{v} 100 \cong 18 \frac{B}{V} (\%)$$

dq/dt = variazione della pendenza trasversale nel tempo pari a 0.05 rad/s;

B = braccio di rotazione della sagoma (Figura 21);

V = velocità di progetto (km/h).

Quando lungo una curva a raggio variabile la rotazione della sagoma comporta una pendenza trasversale minore del 2.5 %, lo smaltimento dell’acqua è difficoltoso; occorre pertanto ridurre al

minimo lo sviluppo di tale tratto adottando per il ciglio una sovrappendenza minima pari a $\Delta i_{min}=0.1B$. In tal caso è necessario spezzare in due parti il profilo longitudinale del ciglio in modo che il primo tratto abbia sovrappendenza pari a Δi_{min} .

In Figura 23 è rappresentato l'andamento dei cigli nei diversi tipi di clotoide (transizione tra rettilo e curva, flesso e continuità).

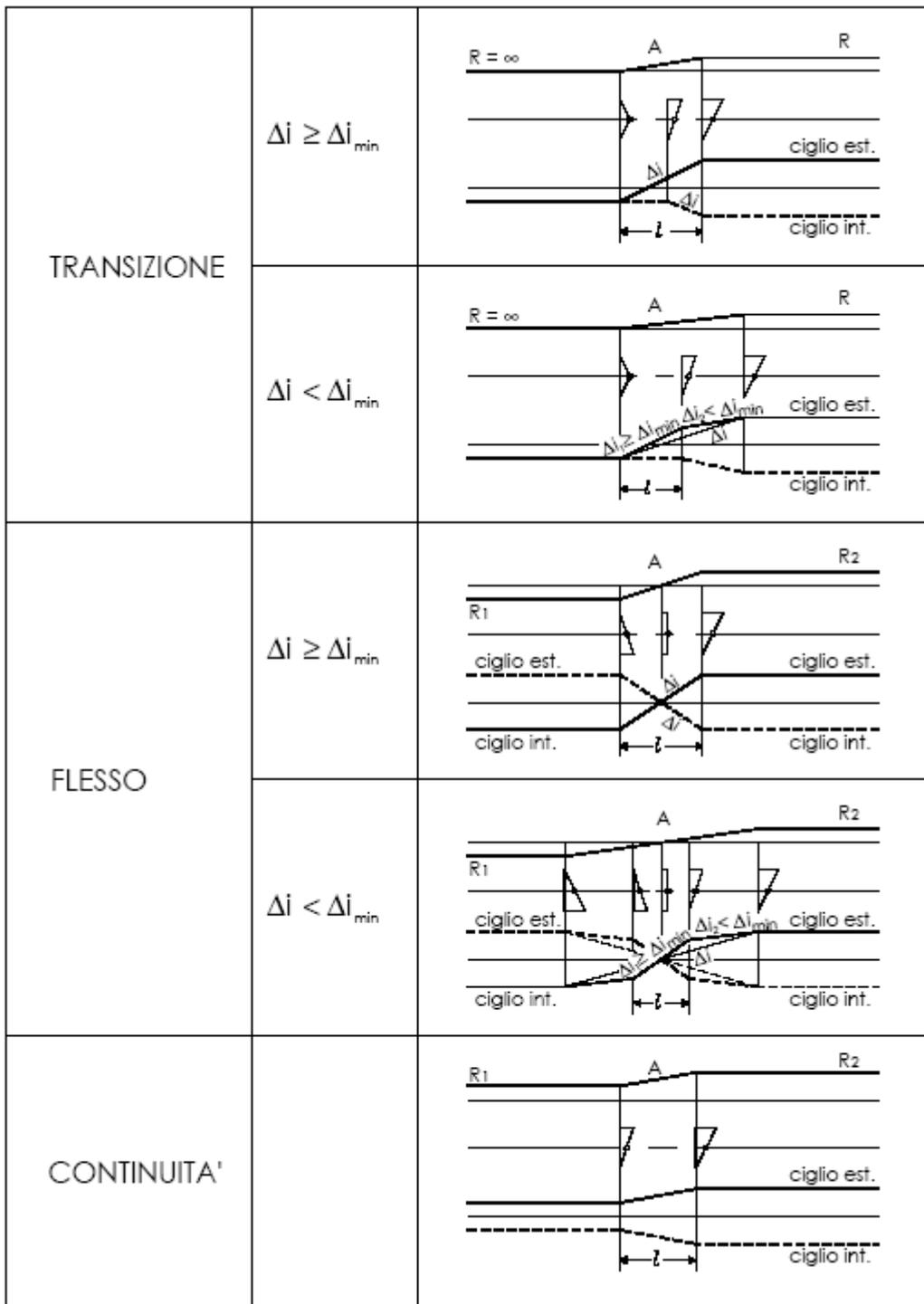


Figura 23 – Andamento dei cigli lungo le clotoidi.

1.1.1.31 Allargamento della carreggiata in curva

Allo scopo di consentire la sicura iscrizione dei veicoli nei tratti curvilinei del tracciato, conservando i necessari franchi fra la sagoma limite dei veicoli ed i margini delle corsie, è necessario che nelle curve circolari ciascuna corsia sia allargata di una quantità E , data dalla relazione:

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

Se l'allargamento E, così calcolato, è inferiore a 20 cm, la corsia conserva la larghezza che ha in rettilineo. Ciò significa che per raggi superiori a 225 m l'allargamento delle corsie non è necessario.

In Tabella 18 sono riportati i valori dell'allargamento in funzione del raggio.

R (m)	40	60	80	100	125	150	175	200	225
e (m)	1.13	0.75	0.56	0.45	0.36	0.30	0.26	0.23	0.20

Tabella 18 – Allargamento di una corsia in curva.

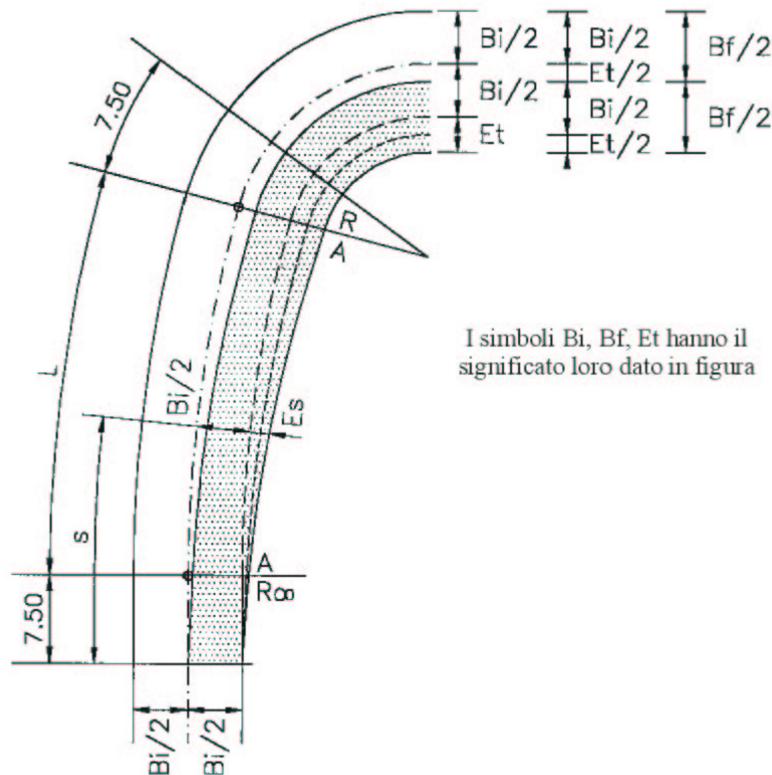


Figura 24 – Modalità di introduzione dell'allargamento in curva.

Nel caso di clotoide tra rettilineo e curva, l'allargamento parte 7.50 m prima dell'inizio della curva di raccordo e termina 7.50 m dopo il punto finale del raccordo (Figura 24).

Il valore dell'allargamento E_s al variare dell'ascissa curvilinea s segue leggi paraboliche.

Note:

- La prescrizione vale per ogni tipo di strada, quindi anche per tutte le strade urbane.
- La norma non indica valori massimi dell'allargamento; così nel caso di curve di piccolo raggio l'allargamento diventa notevole: ad esempio per $R=25$ m risulta $E_s=1.8$ m per ciascuna corsia! In tali casi facilmente sorgono problemi geometrici e realizzativi.

La norma consente comunque in ogni caso di ridurre il valore dell'allargamento, al massimo fino alla metà, qualora si ritenga poco probabile l'incrocio in curva di due veicoli appartenenti ai seguenti tipi : autobus ed autocarri di grosse dimensioni, autotreni ed autoarticolati.

1.7.3 Andamento altimetrico dell'asse

Il profilo altimetrico è costituito da tratti a pendenza costante (livellette) collegati da raccordi verticali parabolici convessi e concavi.

1.1.1.32 Livellette

Le pendenze massime da non superare nei diversi tipi di strada sono indicate in Tabella 19. Nel caso delle strade urbane le pendenze massime vanno dal 6% (tipo D) al 10% (tipo F).

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%

Tabella 19 – Valori massimi della pendenza longitudinale.

I suddetti valori della pendenza massima possono essere aumentati di una unità qualora risulti che lo sviluppo della livelletta sia tale da non penalizzare eccessivamente la circolazione, in termini di riduzione delle velocità e della qualità del deflusso.

Nota:

Le norme C.N.R. N. 78/80 a tale proposito ammettevano che una livelletta potesse superare dell'1% la pendenza massima per una lunghezza non superiore a 500 m.

1.1.1.33 Raccordi verticali

Devono essere eseguiti con archi di parabola quadratica ad asse verticale (Figura 25), il cui sviluppo viene calcolato con l'espressione:

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

dove Δi è la variazione di pendenza delle livellette (%), R_v è il raggio del cerchio osculatore.

L'equazione della parabola è così espressa:

$$y = bx - ax^2;$$

$$a = \text{parametro della parabola} = \frac{1}{2R_v};$$

$$b = \frac{i_1}{100}.$$

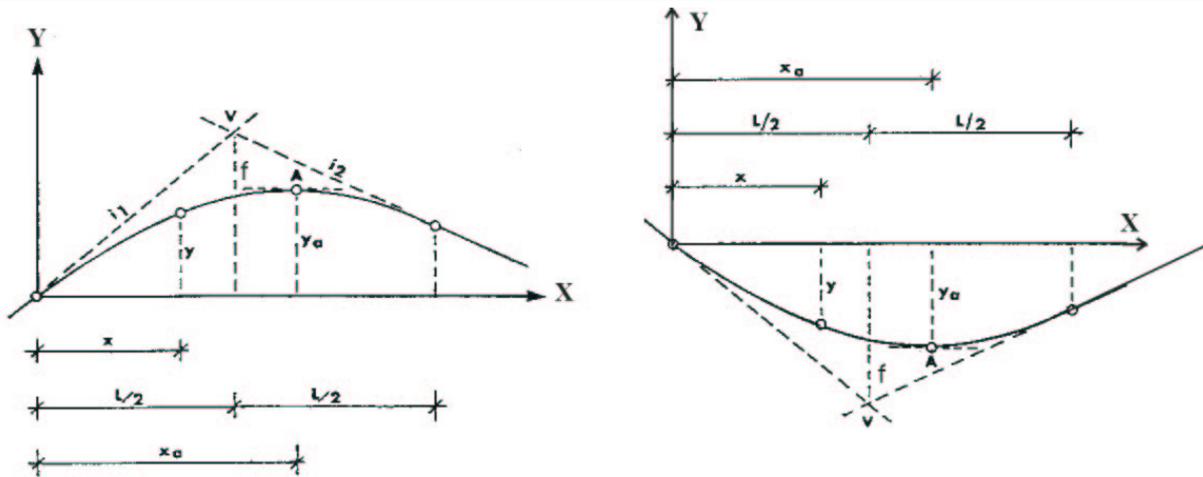


Figura 25 – Raccordi parabolici convessi (a sinistra) e concavi (a destra).

Il raggio verticale minimo (R_{vmin}) si determina con 3 criteri:

1) Il veicolo non deve toccare la superficie stradale (criterio geometrico):

$R_{vmin} = 40$ m nelle sacche;

$R_{vmin} = 20$ m nei dossi.

2) L'accelerazione verticale (a_v) non deve superare 0.6 m/s^2 (criterio di comfort):

$$R_v \geq \frac{v_p^2}{a_{v,lim}}$$

3) Devono essere soddisfatte le seguenti verifiche di visibilità (criterio della visibilità):

1.1.1.34 Caso di raccordo convesso

- Lungo l'intero sviluppo deve essere assicurata la *distanza di visibilità per l'arresto*, ipotizzando che il punto di vista sia alto 1.10 m e l'oggetto da vedere 0.10 m. I valori del raggio verticale minimo in funzione della differenza di pendenza tra livellette (Δi) e della distanza di visibilità (D) si determinano a partire dal grafico di Figura 26 o dalla Tabella 20.

- Qualora nelle strade E e F urbane si intenda ammettere la manovra di sorpasso, occorre assicurare la *distanza di visibilità per il sorpasso*, ipotizzando che il punto di vista e l'ostacolo si trovino entrambi ad un'altezza di 1.10 m dalla superficie stradale. I corrispondenti valori minimi del raggio verticale in funzione della differenza di pendenza tra livellette (Δi) e della distanza di visibilità (D) si determinano a partire dal grafico di Figura 27 o dalla Tabella 21.

- Nelle strade a doppia carreggiata (tipo D) in presenza di intersezioni occorrerebbe dimensionare il raccordo verticale anche per garantire la distanza di visibilità per il cambiamento di corsia. L'altezza del punto di vista è 1.10 m, quella dell'ostacolo non è definita; ipotizzando un'altezza di 0.10 m il dimensionamento del raccordo può essere effettuato con lo stesso diagramma impiegato per garantire la distanza di visibilità per l'arresto (Figura 26). Ciò conduce a raggi verticali piuttosto grandi per il contesto urbano ($R_v > 10000$ m).

Esempi:

L'ordine di grandezza dei raggi verticali convessi da impiegare nelle strade urbane per garantire la distanza di visibilità per l'arresto è:

- per strade di tipo D, $V_p=80 \text{ km/h}$, $D_a = 116 \text{ m}$, $\Delta i=5\%$, $R_v=3623 \text{ m} \rightarrow R_v=3700 \text{ m}$;

- per strade di tipo E e F, $V_p=60 \text{ km/h}$, $D_a = 73 \text{ m}$, $\Delta i=5\%$, $R_v=1432 \text{ m} \rightarrow R_v=1500 \text{ m}$.

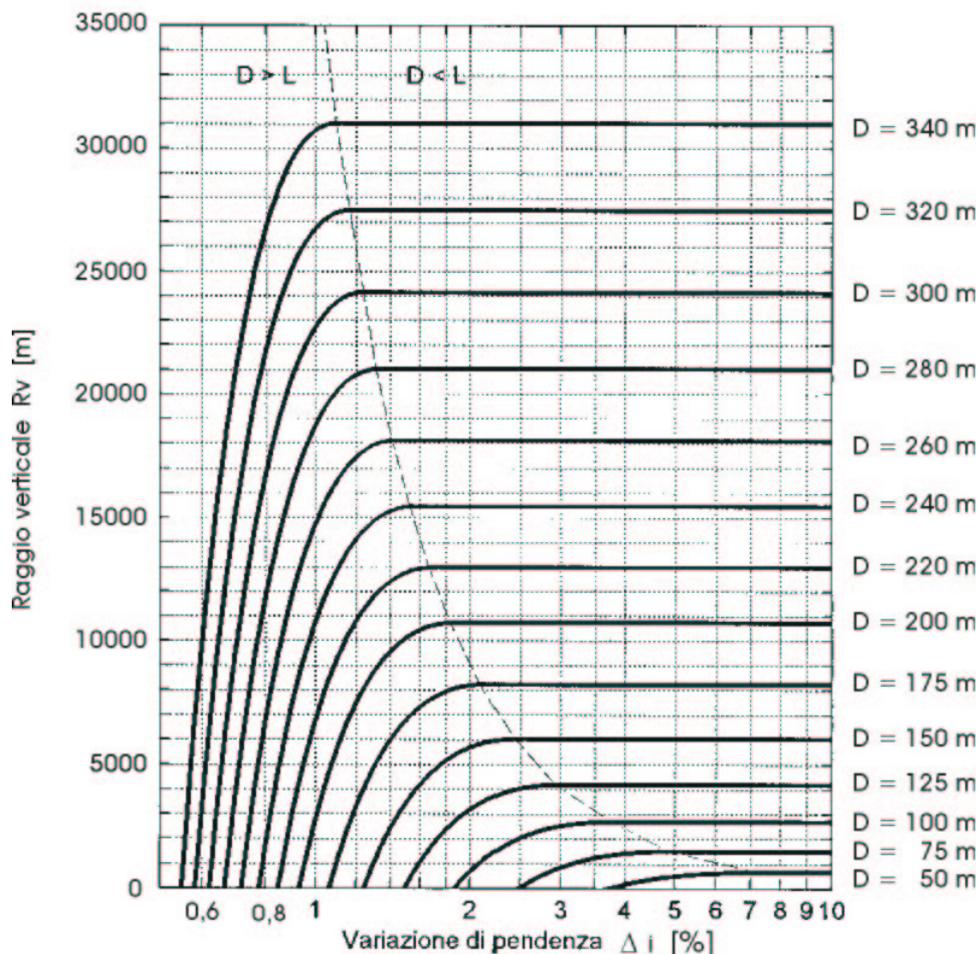


Figura 26 – Diagramma per la determinazione del raggio verticale minimo per garantire la distanza di visibilità per l'arresto – caso di raccordo convesso.

Δi (%)	D (m)							
	50	75	100	125	150	175	200	225
0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2733.50	7733.50
1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	149.44	4149.44	8149.44	12149.44
1.5	0.00	0.00	0.00	103.78	3437.11	6770.44	10103.78	13437.11
1.75	0.00	0.00	0.00	2117.06	4974.20	7831.35	10688.49	13584.59
2	0.00	0.00	683.38	3183.38	5683.38	8183.38	10733.50	13584.59
2.5	0.00	37.36	2037.36	4037.36	6037.59	8217.84	10733.50	13584.59
3	0.00	859.28	2525.94	4192.77	6037.59	8217.84	10733.50	13584.59
4	170.84	1420.84	2683.38	4192.77	6037.59	8217.84	10733.50	13584.59
5	509.34	1509.40	2683.38	4192.77	6037.59	8217.84	10733.50	13584.59
6	631.49	1509.40	2683.38	4192.77	6037.59	8217.84	10733.50	13584.59
7	668.03	1509.40	2683.38	4192.77	6037.59	8217.84	10733.50	13584.59
8	670.84	1509.40	2683.38	4192.77	6037.59	8217.84	10733.50	13584.59
9	670.84	1509.40	2683.38	4192.77	6037.59	8217.84	10733.50	13584.59
10	670.84	1509.40	2683.38	4192.77	6037.59	8217.84	10733.50	13584.59

Tabella 20 – Valori del raggio verticale minimo per garantire la distanza di visibilità per l'arresto – caso di raccordo convesso.

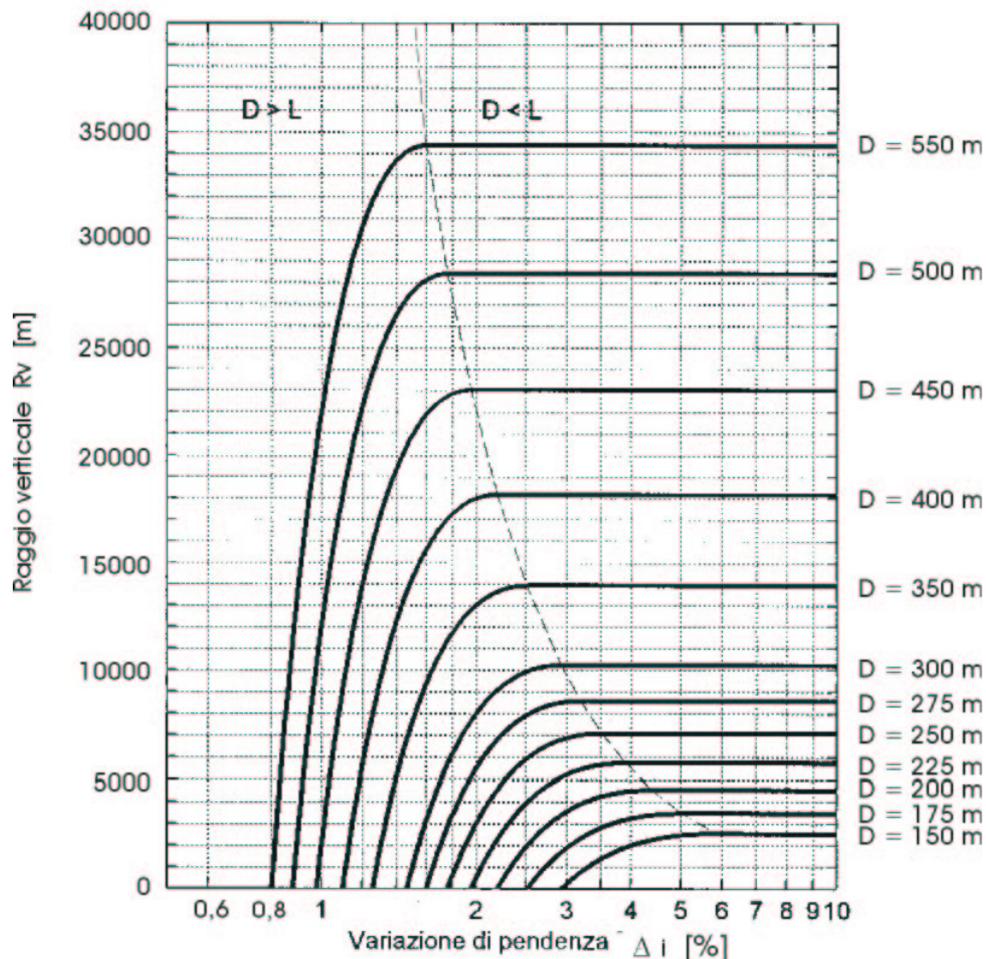


Figura 27 - Diagramma per la determinazione del raggio verticale minimo per garantire la distanza di visibilità per il sorpasso – caso di raccordo convesso.

Δi (%)	D (m)							
	200	250	300	350	400	450	500	550
0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2000.00	12000.00	22000.00
1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	7680.00	15680.00	23680.00	31680.00
1.5	0.00	0.00	888.89	7555.56	14222.22	20888.89	27555.55	34222.22
1.75	0.00	0.00	5551.02	11265.31	16979.59	22693.88	28408.16	34375.00
2	0.00	3000.00	8000.00	13000.00	18000.00	23011.36	28409.09	34375.00
2.5	1920.00	5920.00	9920.00	13920.00	18181.82	23011.36	28409.09	34375.00
3	3555.56	6888.89	10227.27	13920.45	18181.82	23011.36	28409.09	34375.00
4	4500.00	7102.27	10227.27	13920.45	18181.82	23011.36	28409.09	34375.00
5	4545.45	7102.27	10227.27	13920.45	18181.82	23011.36	28409.09	34375.00
6	4545.45	7102.27	10227.27	13920.45	18181.82	23011.36	28409.09	34375.00
7	4545.45	7102.27	10227.27	13920.45	18181.82	23011.36	28409.09	34375.00
8	4545.45	7102.27	10227.27	13920.45	18181.82	23011.36	28409.09	34375.00
9	4545.45	7102.27	10227.27	13920.45	18181.82	23011.36	28409.09	34375.00
10	4545.45	7102.27	10227.27	13920.45	18181.82	23011.36	28409.09	34375.00

Tabella 21 – Valori del raggio verticale minimo per garantire la distanza di visibilità per il sorpasso.

1.1.1.35 Caso di raccordo concavo

Nei raccordi verticali concavi non ci sono problemi di visibilità diurna; occorre soltanto verificare che di notte i fari (gli abbaglianti) siano in grado di illuminare un tratto di strada lungo almeno quanto la distanza di visibilità per l'arresto. Ai fini della determinazione del raggio verticale minimo si ipotizza che i fari si trovino ad un'altezza di 0.5 m dalla superficie stradale e che l'angolo di apertura del fascio luminoso sia di 2° (1° verso l'alto e 1° verso il basso). In Figura 28 e in Tabella 22 sono riportati i valori minimi del raggio verticale in funzione della differenza di pendenza tra livellette (Δi) e della distanza di visibilità (D).

Esempi:

L'ordine di grandezza dei raggi verticali concavi da impiegare nelle strade urbane per garantire la distanza di visibilità per l'arresto è:

- per strade di tipo D, $V_p=80$ km/h, $D_a = 116$ m, $\Delta i=5\%$, $R_v= 2671.3\text{m} \rightarrow R_v= 2700$ m;
- per strade di tipo E e F, $V_p=60$ km/h, $D_a = 73$ m, $\Delta i=5\%$, $R_v= 1504.2$ m $\rightarrow R_v= 1600$ m.

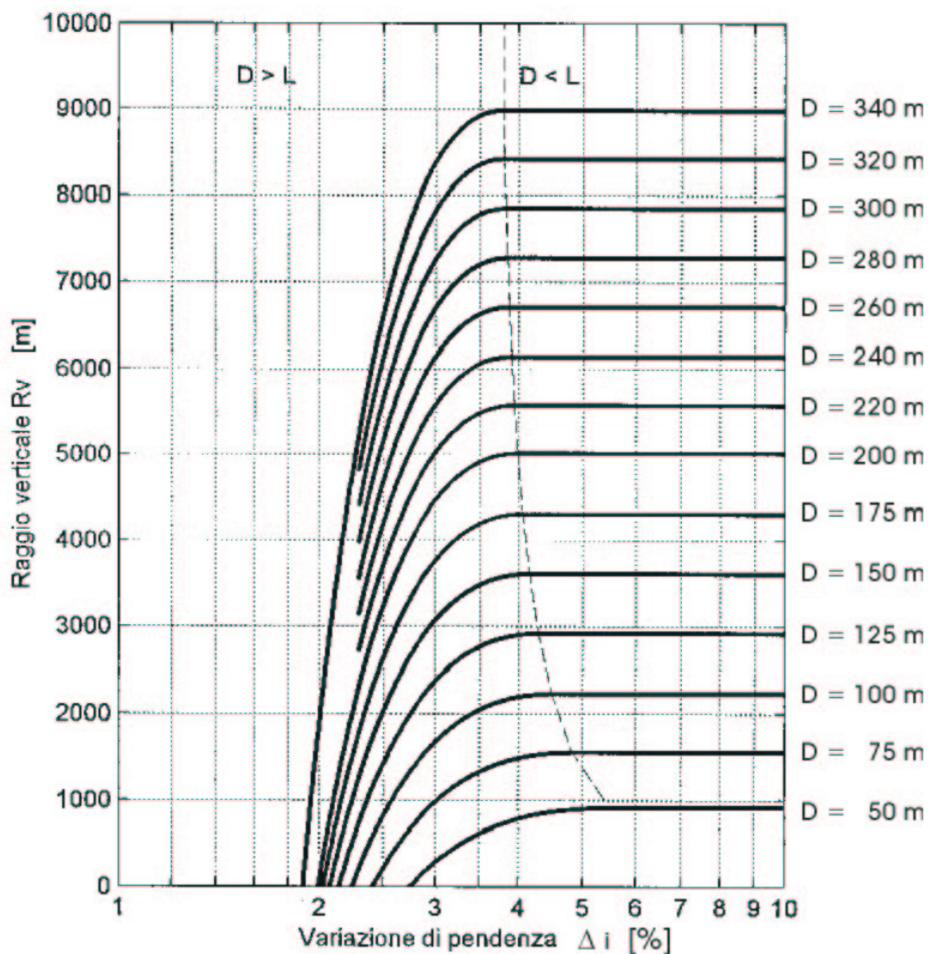


Figura 28 – Diagramma per la determinazione del raggio verticale minimo per garantire la distanza di visibilità per l'arresto – caso di raccordo concavo.

Δi (%)	D (m)							
	50	75	100	125	150	175	200	225
0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	44.94	363.05
2.5	0.00	210.78	814.38	1417.97	2021.57	2625.16	3228.76	3832.35
3	282.77	979.71	1676.65	2373.59	3070.53	3767.47	4464.42	5161.36
4	784.06	1488.59	2193.12	2897.65	3602.18	4306.70	5011.26	5717.25
5	901.80	1554.61	2226.67	2913.06	3607.78	4307.75	5011.26	5717.25
6	910.58	1554.61	2226.67	2913.06	3607.78	4307.75	5011.26	5717.25
7	910.58	1554.61	2226.67	2913.06	3607.78	4307.75	5011.26	5717.25
8	910.58	1554.61	2226.67	2913.06	3607.78	4307.75	5011.26	5717.25
9	910.58	1554.61	2226.67	2913.06	3607.78	4307.75	5011.26	5717.25
10	910.58	1554.61	2226.67	2913.06	3607.78	4307.75	5011.26	5717.25

Tabella 22 – Valori del raggio verticale minimo per garantire la distanza di visibilità per l’arresto – caso di raccordo concavo.

1.7.4 Diagramma delle velocità

Il diagramma delle velocità è la rappresentazione grafica dell’andamento della velocità di progetto in funzione della progressiva. Si costruisce in base ai parametri geometrici del solo tracciato (l’andamento altimetrico viene considerato ininfluyente) secondo le seguenti regole:

- si assume che nelle curve il conducente adatti la propria velocità alla velocità di progetto della curva stessa;
- prima di una curva il conducente decelera ($a = -0.8 \text{ m/s}^2$) fino a raggiungere la velocità di progetto della curva;
- finita la curva il conducente accelera ($a = 0.8 \text{ m/s}^2$);
- in ogni caso non deve essere superata la velocità di progetto massima associata al tipo di strada.

In Figura 29 è riportato un esempio di diagramma di velocità con in ascissa la progressiva, in ordinata la velocità di progetto. In corrispondenza delle curve è indicata la velocità di progetto delle stesse.

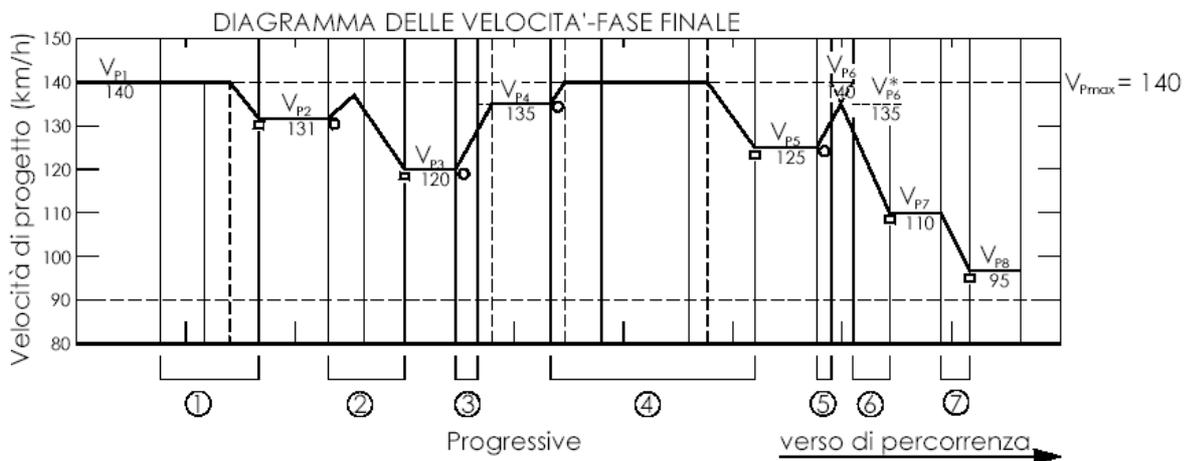


Figura 29 – Esempio di diagramma di velocità riportato dalla norma.

Il diagramma di velocità è molto importante, perché da esso si deduce la velocità di progetto necessaria per verificare la rispondenza a norma dei parametri geometrici del tracciato (lunghezza dei rettifili, parametro delle clotoidi, sviluppo delle curve) e del profilo (raccordi verticali).

Nota:

Per le ipotesi di costruzione formulate, il diagramma delle velocità è indipendente dal verso di percorrenza; dal verso dipende invece l'esito delle verifiche prescritte dalla norma sulla distanza di riconoscimento e sulle variazioni di velocità.

1.1.1.36 Verifiche da eseguire sul diagramma di velocità

Si definisce *distanza di transizione* (D_t) lo spazio necessario al veicolo per effettuare la variazione di velocità:

$$D_t = \frac{\left(\frac{V_{p2}}{3.6}\right)^2 - \left(\frac{V_{p1}}{3.6}\right)^2}{2 \cdot a};$$

dove V_{p2} e V_{p1} sono le velocità di progetto finale e iniziale (in km/h), a l'accelerazione o la decelerazione ($a=\pm 0.8 \text{ m/s}^2$).

Si definisce *distanza di riconoscimento* (D_r) la lunghezza massima del tratto di strada entro il quale il conducente può riconoscere eventuali ostacoli e avvenimenti.

$$D_r = 12 \cdot \frac{V_p}{3.6};$$

dove V_p è la velocità di progetto iniziale in fase di rallentamento.

Nei tratti in decelerazione deve essere verificato quanto segue:

lo spazio necessario per rallentare deve essere contenuto all'interno dello spazio percepito:

$$D_t < D_r;$$

lo spazio necessario per rallentare deve risultare inferiore alla distanza di visuale libera (D_v):

$$D_t < D_v.$$

Nota:

In questo caso la norma non specifica la modalità di valutazione della distanza di visuale libera; può apparire ovvio che si tratti della distanza di visuale libera per l'arresto, ma il problema non riguarda l'arresto di fronte ad un ostacolo alto 0.10 m collocato sull'asse della corsia, bensì la comprensione della curvatura del tracciato, che può essere materializzata in vario modo (strisce longitudinali, barriere di sicurezza, delineatori modulari di curva, muri di sostegno, etc.) e quindi da elementi di differente altezza, posti a diverse distanze dall'asse stradale.

Nel caso delle strade urbane nel passaggio da tratti caratterizzati dalla V_{pmax} a curve con velocità inferiore, la differenza di velocità non deve superare 5 km/h. Tra due curve successive la differenza di velocità di progetto non deve superare 20 km/h, ed è consigliabile che non superi i 10 km/h.

Importante:

Le verifiche sopra descritte riguardano il tracciato nel suo complesso e dipendono fondamentalmente dalla successione dei raggi delle curve e della distanza relativa tra curve. Se le verifiche non sono soddisfatte occorre rivedere la geometria di ampi tratti del tracciato.

Nota:

In fase di progettazione è raccomandabile eseguire le verifiche sulle variazioni di velocità prima di eseguire il profilo e le sezioni, dal momento che si tratta di verifiche molto restrittive.

Strade tipo D

R1 (m)	Vp1(km/h)	Vp2(km/h)	R2 (m)
40	36.5	56.5	99.9
50	40.6	60.6	116.3
60	44.3	64.3	135.0
70	47.7	67.7	153.9
80	50.9	70.9	173.2
90	53.8	73.8	192.7
100	56.5	76.5	212.7

Strade tipo E, F urbane

R1 (m)	Vp1(km/h)	Vp2(km/h)	R2 (m)
25	28.3	48.3	76.4
40	35.5	55.5	102.2
50	39.5	59.5	118.4

Tabella 23 – Tabella per la rapida verifica della corretta successione dei raggi delle curve.

Tramite la Tabella 23 si intende fornire un ausilio per verificare la corretta successione delle curve lungo il tracciato di strade urbane D, E F. Assegnato il raggio R1 di una curva, la curva che precede o che segue deve avere al massimo un raggio pari a R2 tale che:

$$V_{p2} = V_{p1} + 20 \text{ km/h};$$

viceversa data una curva di raggio R2, la curva che precede o che segue deve avere un raggio che non può scendere al di sotto del valore R1 tale che:

$$V_{p1} = V_{p2} - 20 \text{ km/h}.$$

Per valori di R₁ superiori a quelli indicati nelle tabelle, il raggio R₂ può essere qualsiasi.

Nel caso di curve collegate da clotoidi di flesso o di continuità i valori di R1 e R2 devono rientrare nelle fasce indicate nell'abaco di Figura 18 (solo per strade di tipo D).

1.7.5 Coordinamento piano - altimetrico

Per fare in modo che l'asse della strada e più in generale la piattaforma stradale vengano correttamente percepiti dai conducenti, occorre coordinare l'andamento planimetrico e l'andamento altimetrico.

Il migliore strumento per controllare tale coerenza è costituito dalle viste prospettiche o dalle viste "dinamiche", che possono essere generate con relativa facilità con i moderni programmi di progettazione stradale.

La norma riporta comunque una serie di buone regole per il corretto posizionamento dei raccordi verticali, che possono essere così sintetizzate:

- i raccordi verticali completamente contenuti all'interno di un rettilo sono correttamente percepiti;
- i raccordi verticali che interessano curve planimetriche dovrebbero essere posizionati in modo che i vertici dell'andamento planimetrico e quelli dell'andamento altimetrico siano coincidenti; inoltre lo sviluppo del raccordo verticale dovrebbe essere dello stesso ordine di grandezza dello sviluppo della curva planimetrica;
- occorre evitare che un raccordo planimetrico inizi immediatamente dopo un raccordo concavo. Se ciò si verifica la visione prospettica dei cigli presenta una falsa piega. In tal caso si può giungere ad un miglioramento imponendo che il rapporto fra il raggio verticale R_v ed il raggio della curva planimetrica R sia maggiore di 6.
- occorre evitare il posizionamento di un raccordo concavo immediatamente dopo la fine di una curva planimetrica. Anche in questo caso nelle linee di ciglio si presentano evidenti difetti di continuità e si percepisce un restringimento della larghezza della sede stradale che può indurre l'utente ad adottare comportamenti non rispondenti alla reale situazione del tracciato. Il difetto può essere ancora corretto portando a coincidere i vertici dei due elementi.
- un'altra buona regola, non presente nel decreto ma nella letteratura sull'argomento, consiste nel fare iniziare un raccordo convesso dopo almeno 3° di deviazione della clotoide che precede la curva circolare, in modo da evitare pericolosi effetti sorpresa.

1.1.1.37 Perdita di tracciato

Quando un raccordo concavo segue un raccordo convesso, nel quadro prospettico dell'utente può rimanere nascosto un tratto intermedio del tracciato. Si definisce questa situazione come "perdita di tracciato", che può disorientare l'utente quando il tracciato ricompare ad una distanza inferiore a quella riportata in Tabella 24.

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

Tabella 24 – Valori della distanza di ricomparsa in funzione della velocità di progetto.

La verifica deve essere eseguita nella modalità indicata in Figura 30, in cui con h_1 si è indicata l'altezza dell'osservatore.

La perdita di tracciato deve essere evitata specialmente se rimangono nascosti cambiamenti di direzione o intersezioni.

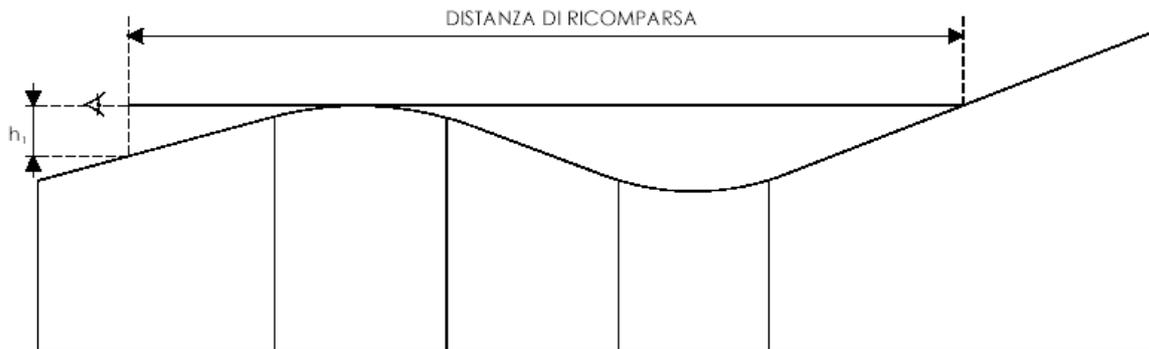


Figura 30 – Modalità di esecuzione della verifica riguardante la perdita di tracciato.

1.8 BIBLIOGRAFIA

- C.N.R.-UNI 10005 (1963) – Costruzione e manutenzione delle strade – Caratteristiche Geometriche. – Roma.
- C.N.R.-UNI 10005 (1963) – Costruzione e manutenzione delle strade – Caratteristiche Geometriche. – Roma.
- C.N.R. (1973) – Norme sulle caratteristiche geometriche delle strade – Bollettino ufficiale N. 31/73 – Roma.
- C.N.R. (1978) - Norme sulle caratteristiche geometriche e di traffico delle strade urbane – Bollettino ufficiale N. 60/78.
- C.N.R. (1980) – Norme sulle caratteristiche geometriche delle strade extraurbane – Bollettino ufficiale N. 78/80 – Roma.
- D.L. 30/04/1992 n. 285 e successive modifiche e integrazioni – Codice della strada – Roma.
- D.P.R. 16/12/1992 n. 495 e successive modifiche e integrazioni – Regolamento di esecuzione e di attuazione del Codice della strada – Roma.
- R. Lamm, B. Psarianos, T. Mailaender (1999) – Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook – Mc Graw Hill - New York.
- Transportation Research Board (2000) – Highway Capacity Manual – Special Report 209 – Washington D.C.
- D.M. n. 6792 del 5/11/2001 e successive modifiche e integrazioni – Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade.
- M. Agostinacchio, D. Ciampa, S. Olita (2002) – La progettazione delle strade – Guida pratica alla corretta applicazione del D.M. 05/11/2001 – EPC Libri – Roma.
- T. Esposito, R. Mauro (2003) – “La geometria stradale” – Hevelius Edizioni – Benevento.
- M. Agostinacchio, D. Ciampa, S. Olita (2005) – Strade ferrovie aeroporti – La progettazione geometrica in sicurezza – EPC Libri – Roma.
- L. Domenichini, F. La Torre (2004) - Documentazione del seminario: “Geometria delle Strade – Le nuove norme per le intersezioni e per gli adeguamenti delle strade esistenti. Il corpo normativo per il progetto dei tracciati stradali, delle intersezioni e degli adeguamenti delle strade esistenti.” – Roma, 11-12 novembre 2004.
- Regione Lombardia (2006) – Allegato 1 – Progettazione degli assi stradali.
- Provincia di Bolzano - D.P.P. n°28 del 27/06/2006 - Norme funzionali e geometriche per la progettazione e la costruzione di strade nella Provincia Autonoma di Bolzano-Alto Adige.
- “Norma per gli interventi di adeguamento delle strade esistenti” – Bozza del 21.03.2006.
- F. Annunziata, E. Cecere, M. Coni, F. Maltinti, F. Pinna, S. Portas (2007) – Progettazione stradale – Dalla ricerca al disegno delle strade – Dario Flaccovio Editore – Palermo.
- S. Canale, N. Distefano, S. Leonardi (2009) – Progettare la sicurezza stradale – EPC Libri – Roma.