

Con il contributo incondizionato di



I CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI INGEGNERI



La progettazione di opere di adeguamento di infrastrutture stradali esistenti

Quadro normativo e scelte tecniche
Parte 1: Ambito Extraurbano

Adeguamento di un'infrastruttura autostradale con interventi in deroga. Il ruolo dei Controlli di Sicurezza del Dlgs 35/2011



Salvatore Damiano Cafiso

Università di Catania

• Contenuti

- I Controlli di sicurezza
D.M. 35/2011 e D.M. 213/2021
- Progettazione secondo
Standard e Prestazionale
- Casi studio: adeguamento
tronco Autostradale



I Controlli di sicurezza
Riferimenti normativo
D.M. 5/2001
D.M. 35/2011 e D.M. 213/2021

Supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale" n. 3 del 4 gennaio 2002 - Serie generale

Spediz. abb. post. 45% - art. 2, comma 20/b
Legge 23-12-1996, n. 662 - Filiale di Roma

GAZZETTA  UFFICIALE
DELLA REPUBBLICA ITALIANA

PARTE PRIMA

Roma - Venerdì, 4 gennaio 2002

SI PUBBLICA TUTTI
I GIORNI NON FESTIVI

DIREZIONE E REDAZIONE PRESSO IL MINISTERO DELLA GIUSTIZIA - UFFICIO PUBBLICAZIONE LEGGI E DECRETI - VIA ARENULA 70 - 00100 ROMA
AMMINISTRAZIONE PRESSO L'ISTITUTO POLIGRAFICO E ZECCA DELLO STATO - LIBRERIA DELLO STATO - PIAZZA G. VERDI 10 - 00100 ROMA - CENTRALINO 06 85081

N. 5

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE
E DEI TRASPORTI

DECRETO 5 novembre 2001.

**Norme funzionali e geometriche per la
costruzione delle strade.**

CNI - SIIV: La progettazione di opere di adeguamento di infrastrutture
stradali esistenti. Parte 1: Ambito extraurbano

Decreto 22 Aprile 2004

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

Modifica del decreto 5 novembre 2001

"Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade".

Art. 1.

1. L'art. 2 del decreto ministeriale 5 novembre 2001, n. 6792, è 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.

Art. 4.

1. Fino all'emanazione delle suddette norme, per il conseguimento delle finalità 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, è in grado di produrre, oltre che un miglioramento funzionale della circolazione, anche un innalzamento del livello di sicurezza, fermo restando la necessità di garantire la continuità di esercizio della infrastruttura.

DIRECTIVES

DIRECTIVE 2008/96/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL
of 19 November 2008
on road infrastructure safety management

DECRETO LEGISLATIVO 15 marzo 2011 , n. 35

((Attuazione della direttiva 2008/96/CE sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali.))

Vigente al : 2-9-2023

Normativa

Controlli Sicurezza Stradale



EUROPEAN
COMMISSION

Brussels, 17.5.2018
COM(2018) 274 final
2018/0129 (COD)

Proposal for a

DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL
amending Directive 2008/96/EC on road infrastructure safety management

DECRETO LEGISLATIVO 15 novembre 2021 , n. 213

Attuazione della direttiva (UE) 2019/1936 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 ottobre 2019,
che modifica la direttiva 2008/96/CE sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali.

(21G00236)

Vigente al : 2-9-2023

Art. 2

Definizioni articolo 2, direttiva 2008/96/CE

.....

d) **controllo della sicurezza stradale**: il controllo di sicurezza accurato, indipendente, sistematico e tecnico delle caratteristiche di un progetto di costruzione di una infrastruttura stradale, nelle diverse fasi dalla pianificazione alla messa in esercizio, relativo ai progetti di infrastruttura nonché' ai progetti di adeguamento che comportano modifiche di tracciato

Controlli di Sicurezza dei Progetti DL35/2011

art. 4 *(non modificato dal D.L. 2013 15/11/21)*

- 1.** Per **tutti i livelli di progettazione** dei progetti di infrastruttura, nonché dei progetti di adeguamento che comportano modifiche di tracciato sono effettuati i controlli della sicurezza stradale, sulla base dei criteri di cui all'**allegato II**.
- 2.** Per i progetti di infrastruttura le risultanze della **VISS** sono assunte a base dei controlli della sicurezza stradale.
- 3.** Le **risultanze dei controlli della sicurezza stradale** costituiscono parte integrante della documentazione per tutti i livelli di progettazione e sono da ritenersi elementi necessari ai fini della **approvazione dei progetti** da parte degli organi preposti e della successiva realizzazione dell'opera, fino all'emissione del certificato di collaudo.

(segue ...)

Controlli di Sicurezza dei Progetti (art. 4 DL35/2011)

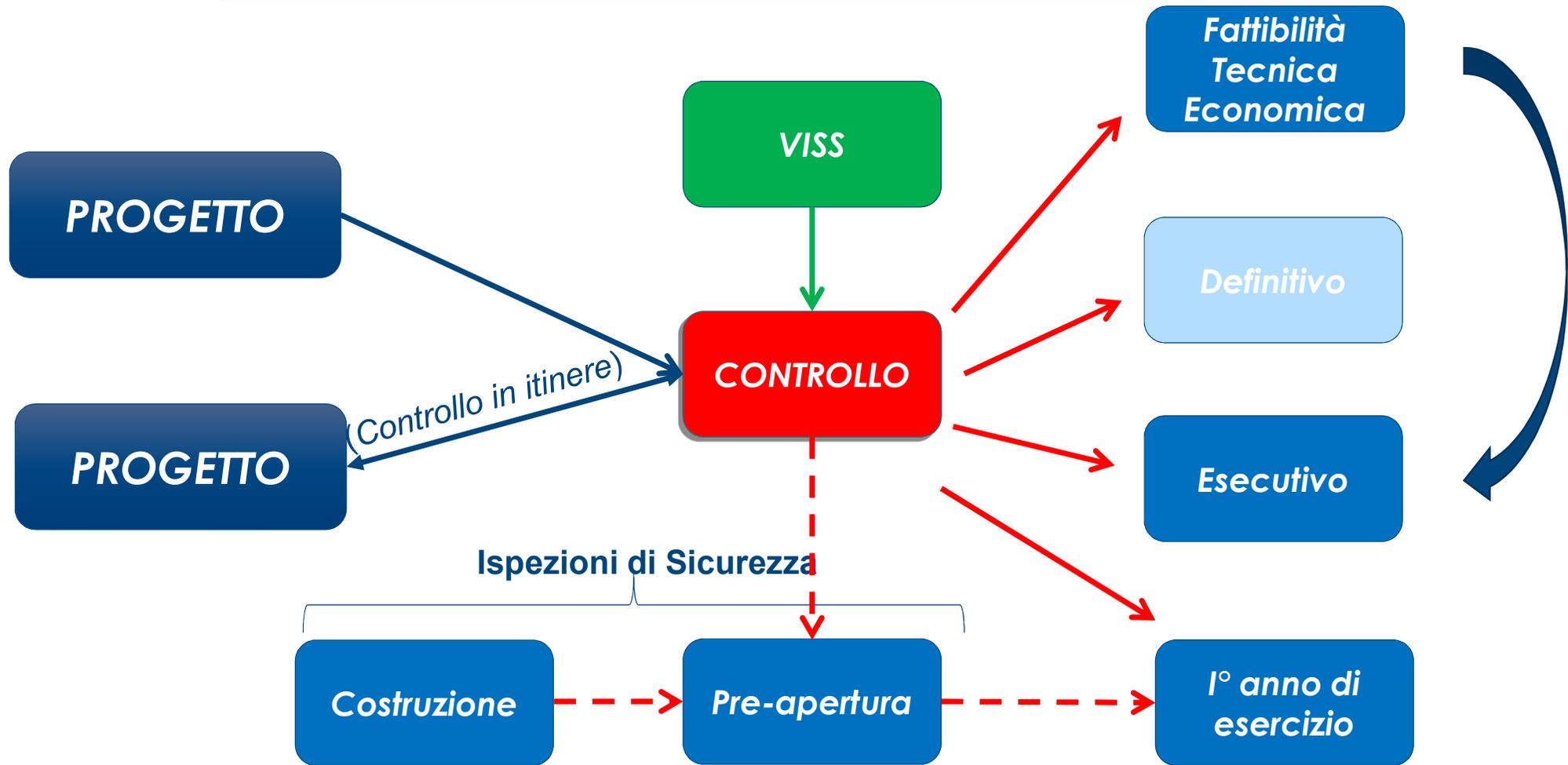
4. La relazione di controllo, predisposta dal controllore, definisce, per ciascun livello di progettazione, gli **aspetti che possono rivelarsi critici** ai fini della sicurezza stradale e le relative **raccomandazioni**. Nel caso in cui la progettazione non dovesse essere adeguata ai fini del superamento degli aspetti critici rilevati dalla relazione di controllo, l'**ente gestore** giustifica tale scelta all'**organo competente**, il quale, laddove ritenga **ammissibili** le giustificazioni addotte, **dispone** che siano allegate alla relazione di controllo, altrimenti dispone l'adeguamento della progettazione alle raccomandazioni. Della relazione di controllo si tiene conto nei successivi livelli di progettazione e nella fase di realizzazione dell'opera, fino all'emissione del certificato di collaudo.

.....

7. I controlli di cui ai commi 1 e 5 sono effettuati da **controllori** individuati dall'**organo competente** tra soggetti in possesso dei **requisiti** di cui all'articolo 9,

Al fine di assicurare **indipendenza** ed imparzialità di giudizio, non può essere incaricato dell'attività di controllo un soggetto che partecipi o abbia partecipato direttamente o indirettamente alla redazione della progettazione in qualsiasi suo livello, alla direzione dei lavori o al collaudo dei progetti di cui al comma 1

VERIFICHE DI SICUREZZA DEI PROGETTI STRADALI





Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

Allegato al D.M. previsto dall'art. 8 del
Decreto Legislativo
n. 35/11

LINEE GUIDA
PER LA GESTIONE DELLA SICUREZZA
DELLE INFRASTRUTTURE STRADALI

*Criteria e modalità per l'effettuazione dei controlli della sicurezza stradale sui progetti,
delle ispezioni di sicurezza sulle infrastrutture esistenti e
per l'attuazione del processo per la classificazione della sicurezza della rete stradale*

2012

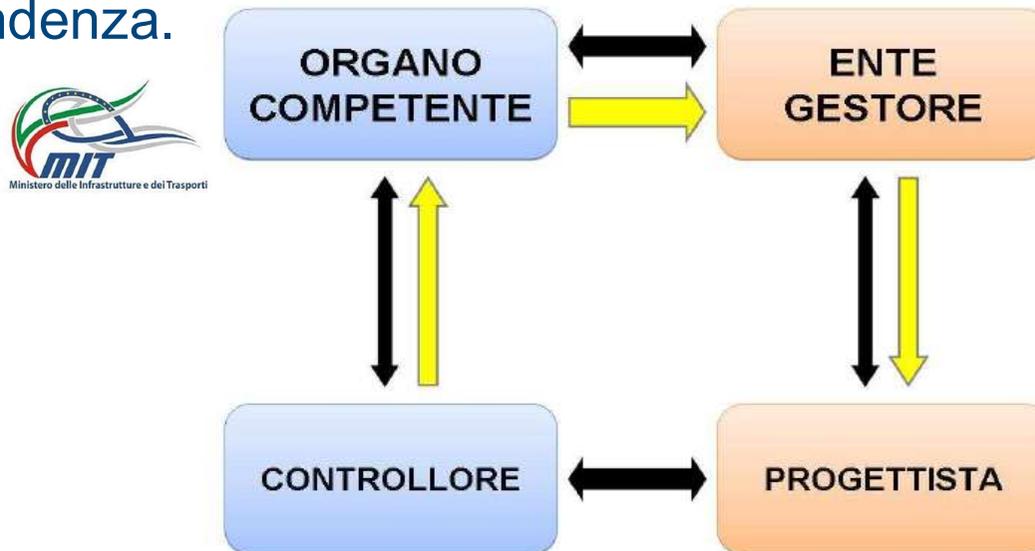
Controllo Preventivo di Sicurezza

Chi sono i soggetti coinvolti ?

L' **Organo di Controllo**: sceglie il Controllore e decide se attuare le raccomandazioni;

L' **Ente Gestore**: il **Progettista** fornisce informazioni e documentazione ed attua le contromisure accettate dal Committente

Il **Controllore**: effettua il controllo. Deve possedere Competenza ed Indipendenza.



(Linee Guida MIT 2012)

Road Safety Audits (RSAs) are a formal safety performance examination of an existing or future roadway or off-road facility and are conducted by an **independent, experienced, multidisciplinary team**.

Responsibilities

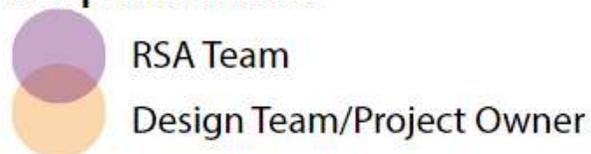


Figure 1. Eight-Step RSA Process

Che cosa sono i Controlli di sicurezza e perché vengono intrapresi?

- Sono eseguiti nella loro forma più tradizionale attraverso **l'identificazione di rischi** e pericoli per tutti i prevedibili gruppi di **utenti della strada** che potrebbero provocare o subire incidenti, in modo tale da poter essere eliminati o mitigati
- Quando allineati con il **Safe System Approach**, si concentrano sui tipi di incidenti mortali e con lesioni gravi (vision zero), ma non precludono la considerazione di altri tipi e gravità di incidenti
- Sono formalmente **documentati**
- Sono necessari in quanto è stato costantemente riscontrato che il rispetto degli **standard** e delle linee guida di progettazione stradale non garantisce in assoluto i migliori livelli di sicurezza stradale
- Il controllo dovrebbe essere **distinto**, ma può essere integrato con altri processi e strumenti rilevanti per la progettazione stradale e la gestione della sicurezza stradale all'interno di un approccio globale

Cosa non è un Controllo di Sicurezza sui progetti?

Una verifica del rispetto di **norme tecniche** e/o linee guida

Una **valutazione della qualità** complessiva di un progetto stradale (o dei progettisti!)

Uno strumento per **scegliere** o giustificare un progetto o un'alternativa progettuale

Sostitutivo di altri controlli sul progetto

Un'indagine sugli **incidenti** (ad es. trattamento dei luoghi dell'incidente/punto nero);

Qualcosa da applicare solo a progetti ad **alto costo** o solo a progetti in cui si prevedono problemi di sicurezza

Una verifica o garanzia della salute e della **sicurezza sul lavoro** dei lavoratori stradali durante la costruzione e/o l'esercizio della strada

Quali sono i vantaggi e i costi del Controllo?

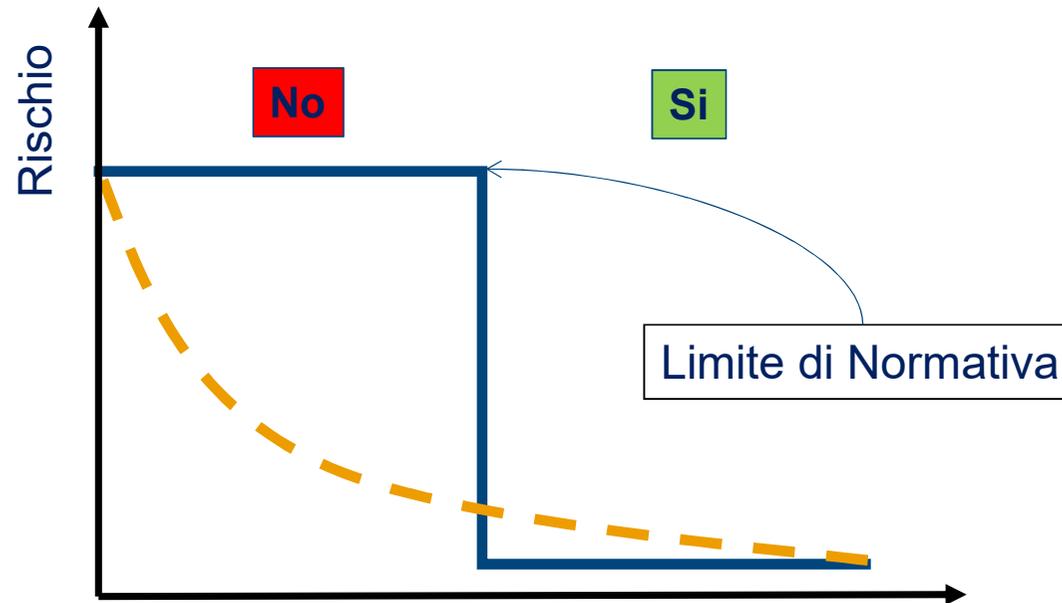
- È possibile ridurre l'esposizione degli **utenti** della strada alla probabilità e alla gravità degli incidenti
- Nel progetto viene data maggiore **importanza** alla sicurezza stradale
- Si riduce la necessità di costosi **lavori di adeguamento** successivi
- I maggiori benefici si ottengono dai Controlli condotti durante le fasi di **fattibilità** e di progettazione **preliminare**. Inoltre, in genere è più semplice ed economico apportare modifiche a un progetto prima dell'inizio della costruzione
- Lo svolgimento dei Controlli rappresenta uno stimolo importante per il **miglioramento** continuo degli standard, delle politiche e delle pratiche di progettazione
- I **costi** del Controllo sono generalmente inferiori al **4%** dei costi totali di progettazione
- Il costo totale per la società, compresi incidenti, disagi e traumi, viene ridotto. La Banca Mondiale identifica un rapporto **benefici/costi** pari a **36** per i maggiori costi dovuti ai controlli

Progettazione secondo Standard e Prestazionale

Perché progettare in base agli standard non garantisce la sicurezza?

- La **complessità** dell'ambiente e del compito progettuale
- Utilizzo di standard insufficienti o troppo complessi per la **situazione locale**
- Standard sviluppati per una **serie di ragioni**, ad es. costi, capacità di traffico, impatto ambientale, nonché sicurezza
- La presenza di **più standard** di progettazione concorrenti e talvolta sovrapposti
- Gli standard rappresentano spesso un **requisito minimo**; combinare una serie di minimi può risultare non sufficiente
- Utilizzo di standard **obsoleti** o non aggiornati alle buone pratiche
- I **singoli elementi stradali**, progettati secondo gli standard, possono essere abbastanza sicuri presi da soli ma possono, se combinati, avere un impatto sulla sicurezza
- **Scostamenti** lievi dagli standard non implicano necessariamente conseguenze negative sulla sicurezza

Standard vs. Performance



Parametro di progetto
(larghezza sezione, raggio della curva, distanza di visibilità, ...)

Standard Vs. Performance (Safety)

D.M. 05/11/2001: Raggio curve planimetriche

RAGGIO MINIMO

$$V_{Pmin} \leq V_P \leq V_{Pmax}$$

| Velocità [km/h] | 25 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 |
|--|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Rmin [m] extr.urb.tutte ed autostr. urb. $q_{max} = 0,07$ | - | 45 | 75 | 120 | 180 | 250 | 340 | 440 | 550 | 670 | 800 | 960 |

Raggio
Minimo

Strada extrurbana secondaria - C

Standard Vs. Performance (Safety)

Raggio di curvatura/clotoide – Tasso di Incidentalità

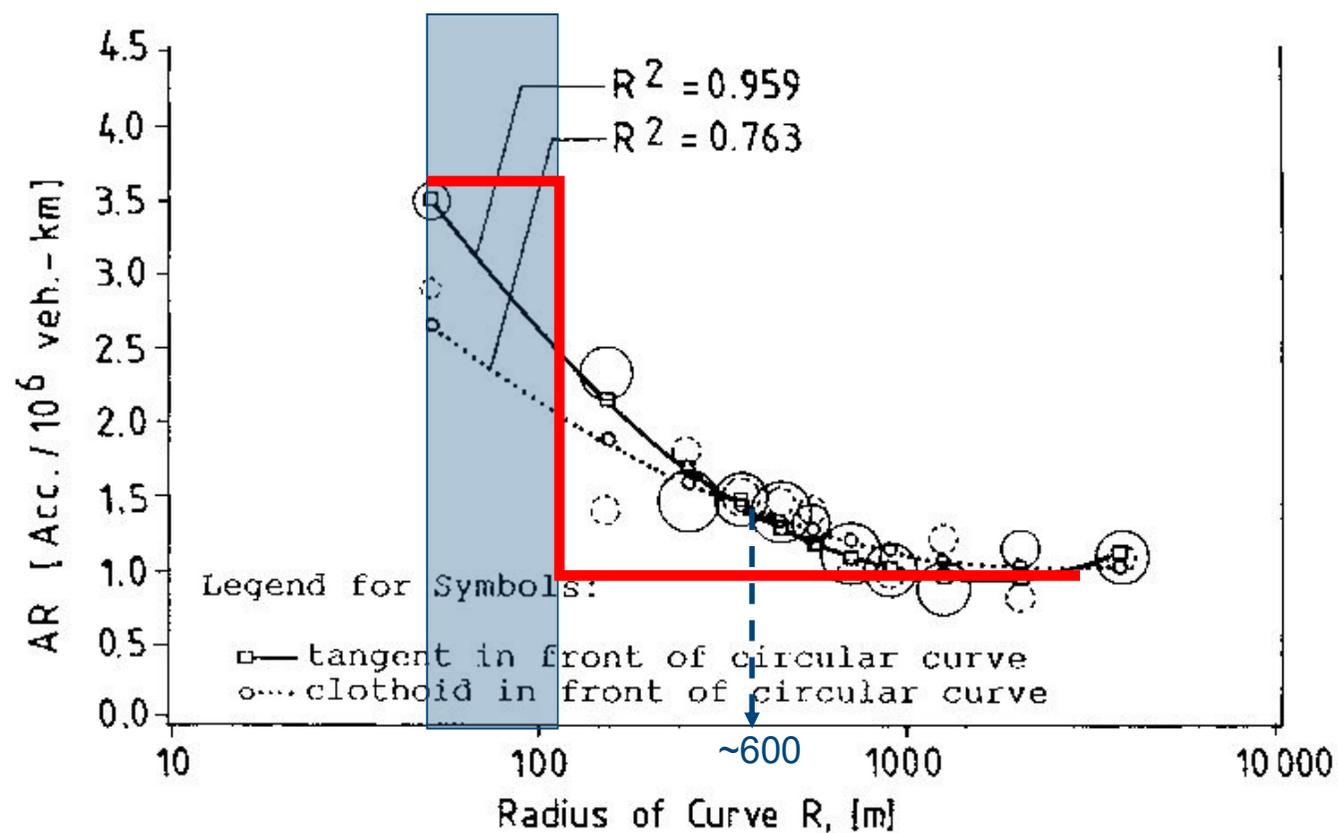


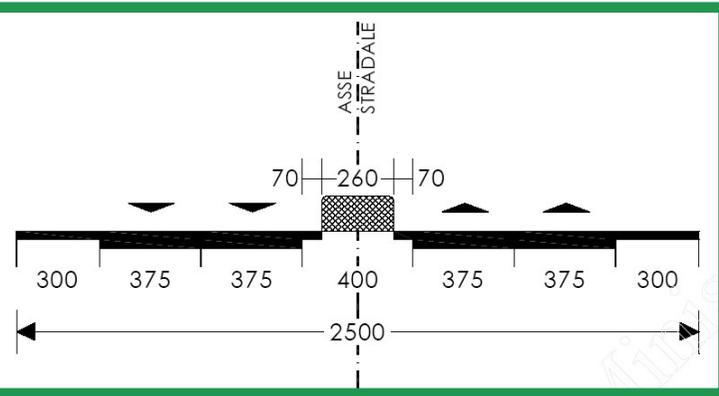
FIGURE 9.23 Accident rate with regard to the radius of curve (element sequences) for all accident types.⁴⁷⁶

Gli Indici di Prestazione della Strada (KPI)

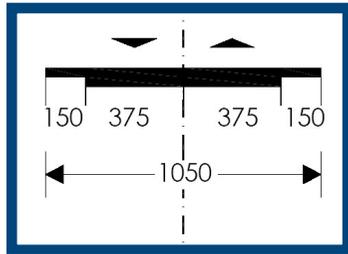
| Punto di vista | | Criterio | Esempi di indicatori della misura della qualità |
|--|-------------------------------|---------------------------------|---|
| Collettività | Utente | Servizi | 1 Numero di aree di servizio |
| | | | 2 Numero di piazzole di sosta |
| | | Comfort | 1 Livello di servizio (tempo di viaggio, ...) |
| | | | 2 Rumore e vibrazione (interno) |
| | 3 Costo operativo del veicolo | | |
| | Sicurezza | 1 Tasso di incidentalità | |
| | | Funzionalità | 1 Integrazione con la rete |
| | 2 Accessibilità | | |
| | Ambiente | 1 Inquinamento atmosferico | |
| | | 2 Rumore e vibrazione (esterno) | |
| 3 Architettura della strada (estetica) | | | |
| Ente gestore | Costi | 1 Costruzione | |
| | | 2 Manutenzione | |
| | | 3 Gestione | |

Le Prestazioni di Funzionalità (Safety)

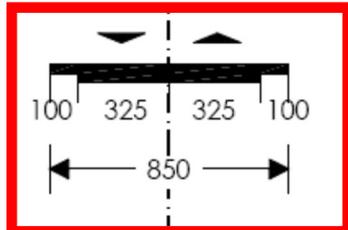
Autostrada



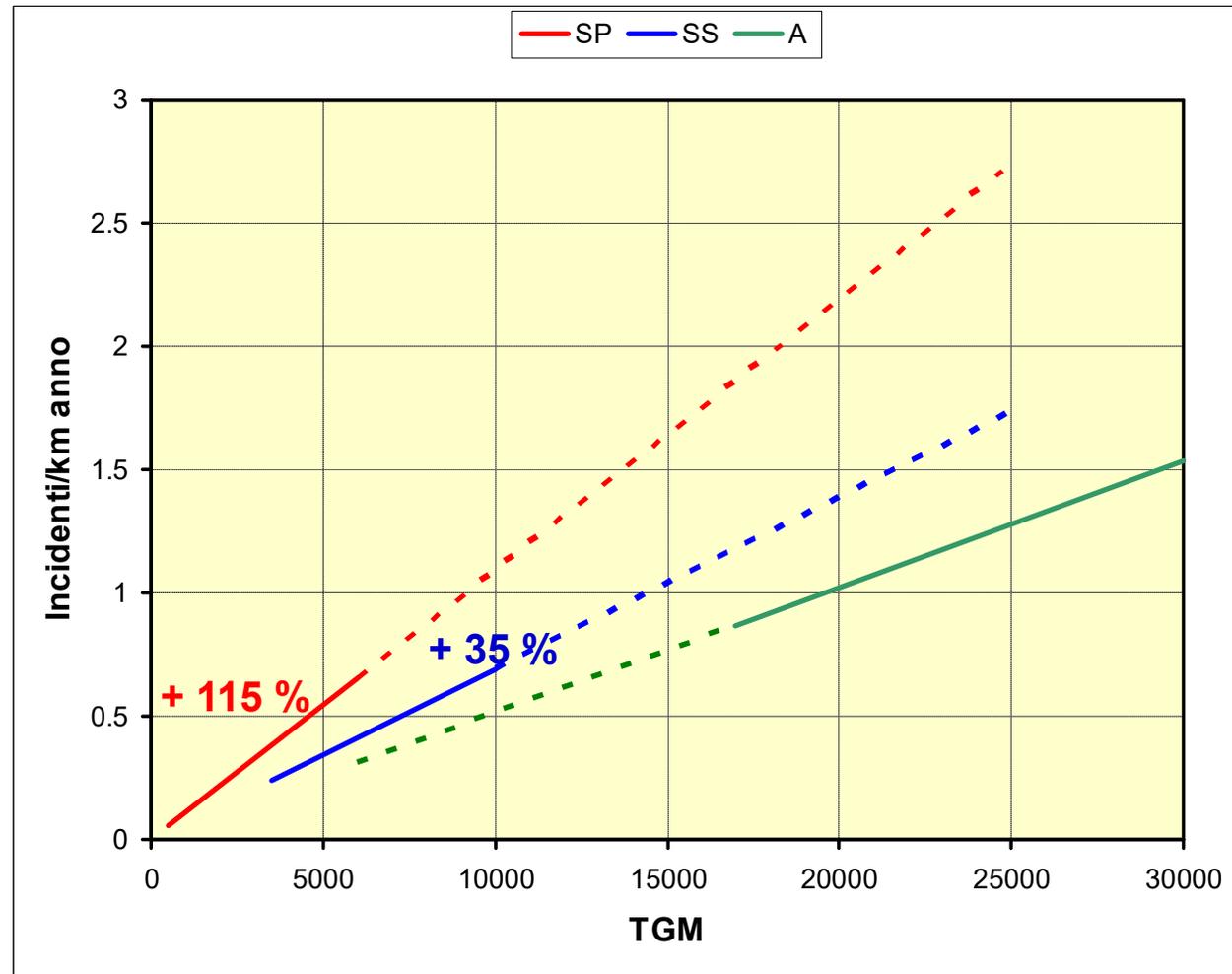
Extraurbana Secondaria



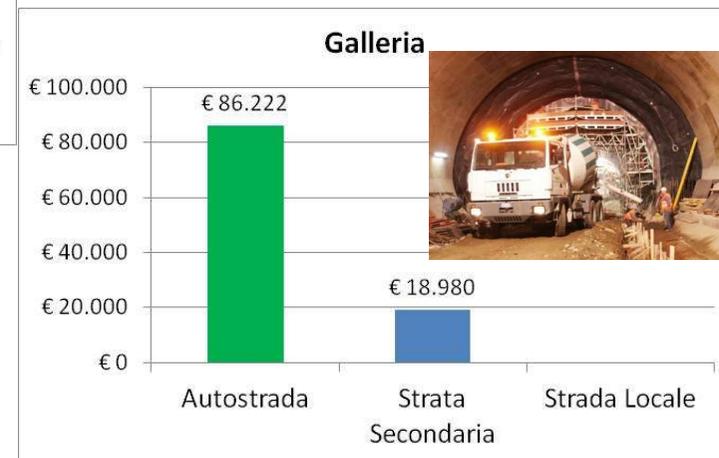
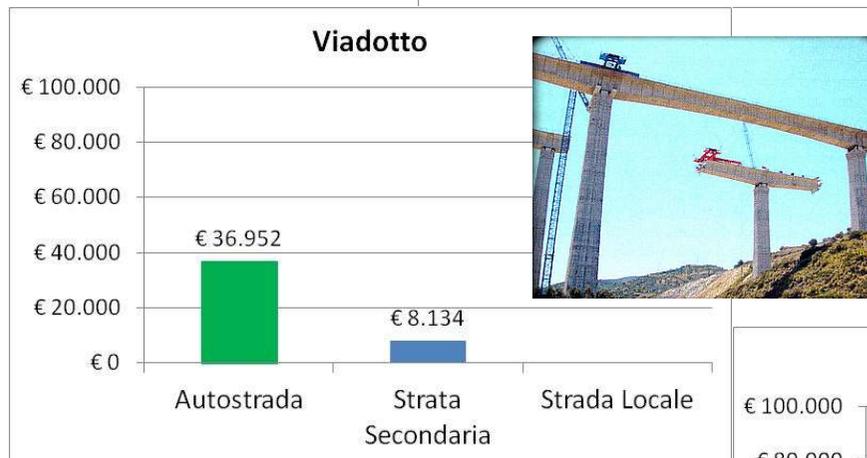
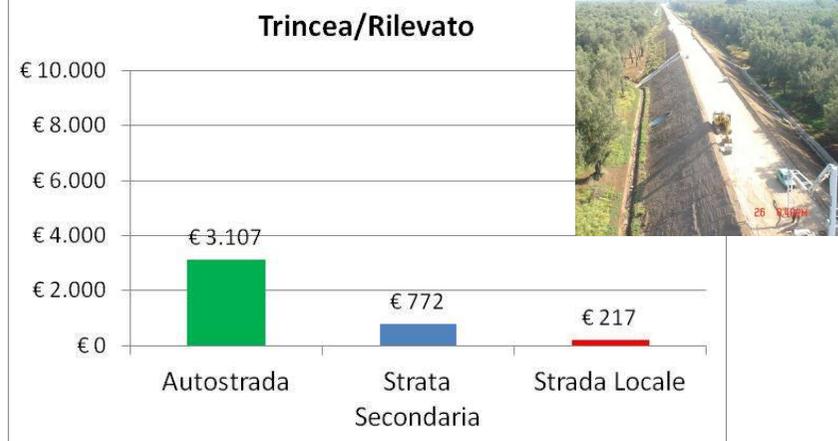
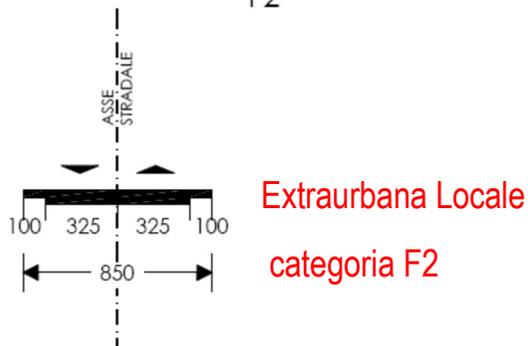
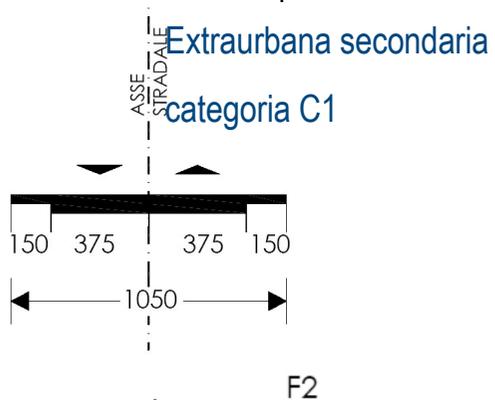
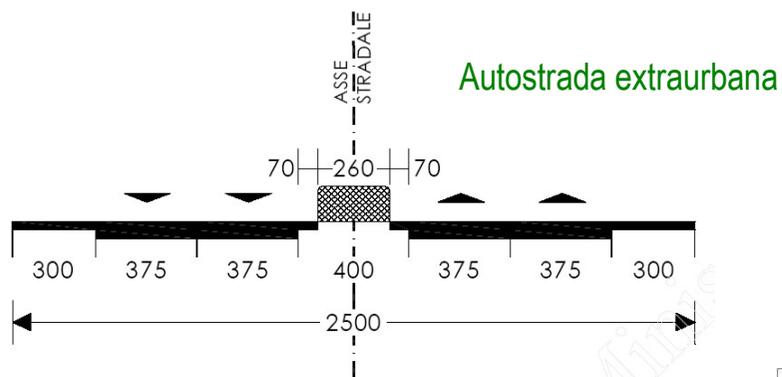
Extraurbana Locale



Tasso di Incidentalità su Autostrade, Statali e Provinciali



Le Prestazioni di Funzionalità (Costi)



[fonte: osservatorio Lavori pubblici]

Competizione tra le diverse prestazioni



Valutazione delle Performance **FLESSIBILITÀ**

Cosa vuol dire “flessibilità”?

Utilizzare la competenza e il “giudizio ingegneristico”

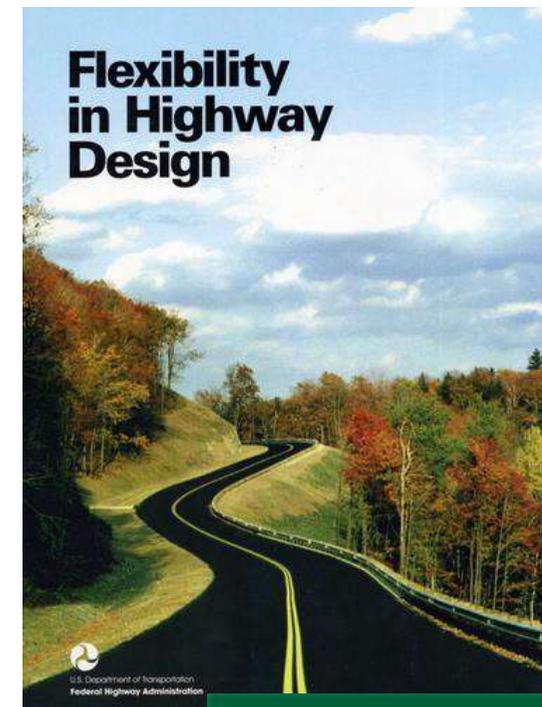
Utilizzare approcci flessibili ai parametri di progettazione

Applicare principi fondamentali di progettazione adattati alla specifica condizione

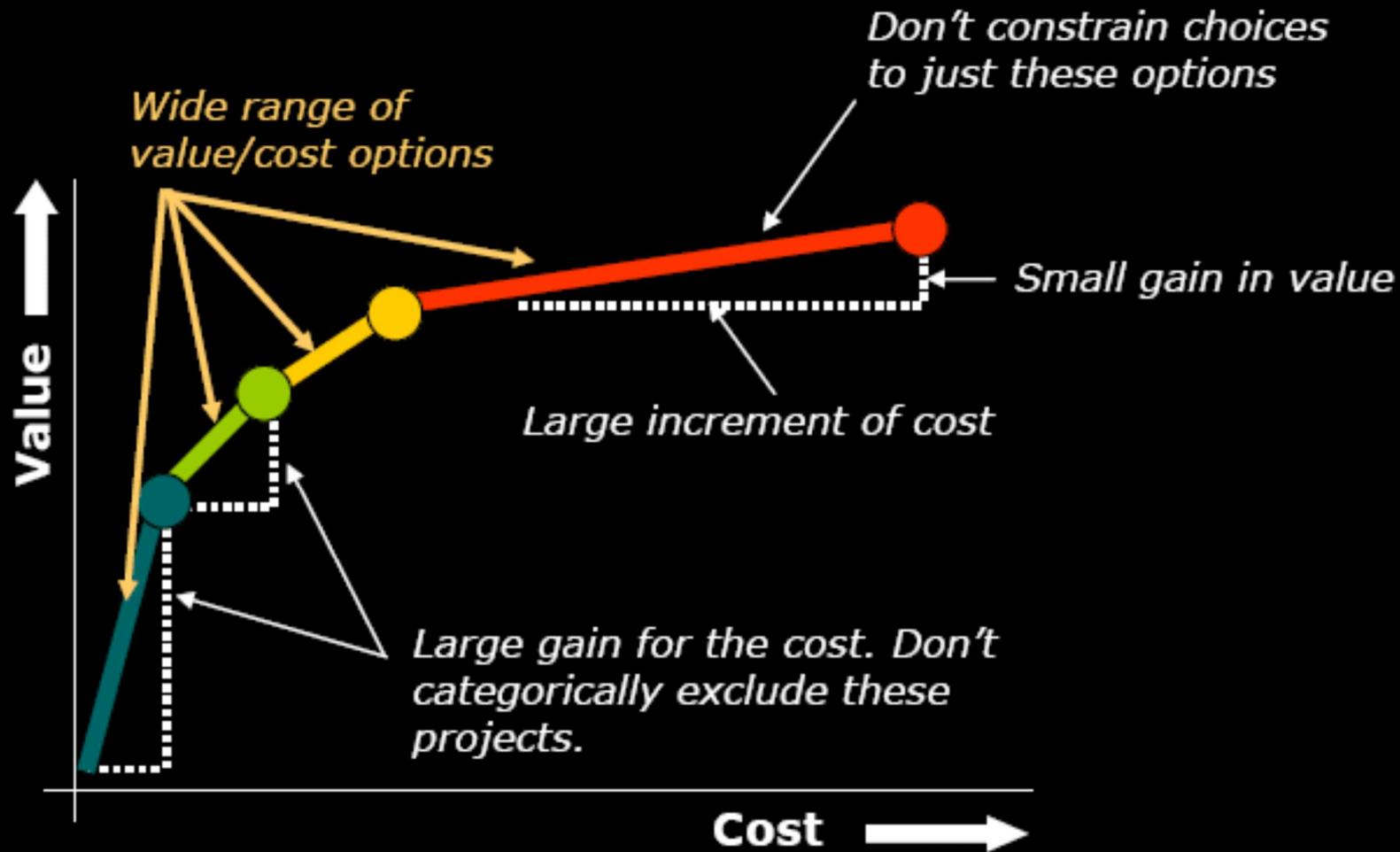
Valutare e comprendere i compromessi operativi e di sicurezza delle scelte

Documentare le decisioni

Approccio progettuale «pratico» e non «ideologico»



Esempio di “practical design”?



Publication No. FHWA HIF-17-026

START-UP GUIDE:

Performance-Based Practical Design

March 1, 2017

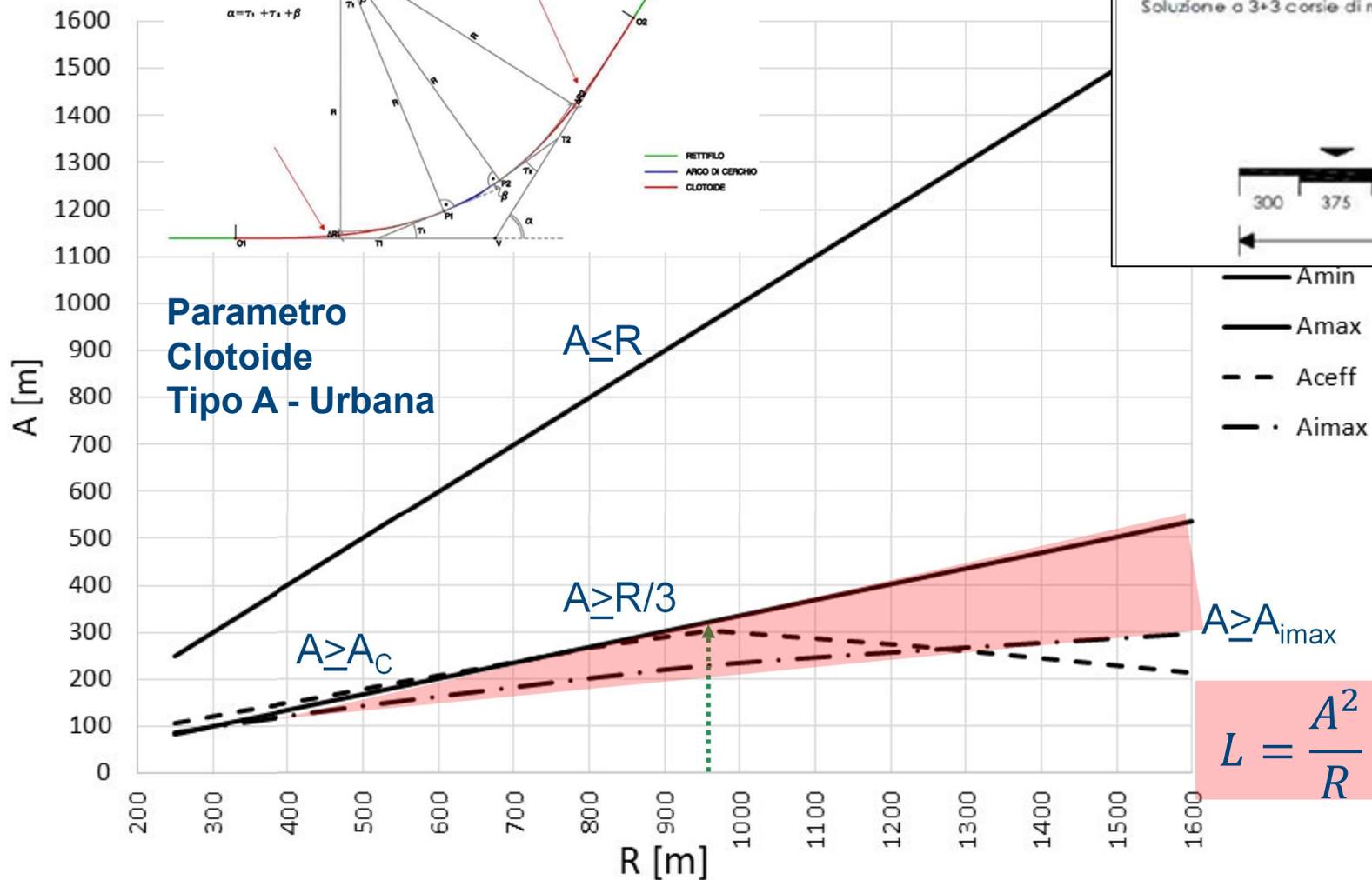
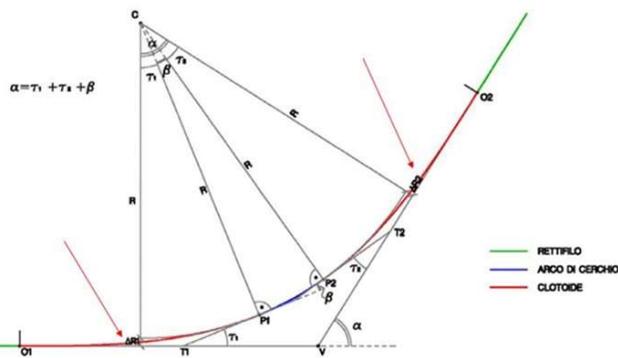


U.S. Department
of Transportation
**Federal Highway
Administration**

Adeguamento tronco Autostradale Caso studio 1

Raccordi planimetrici progressivi e circolari

VERIFICHE D.M. 2001

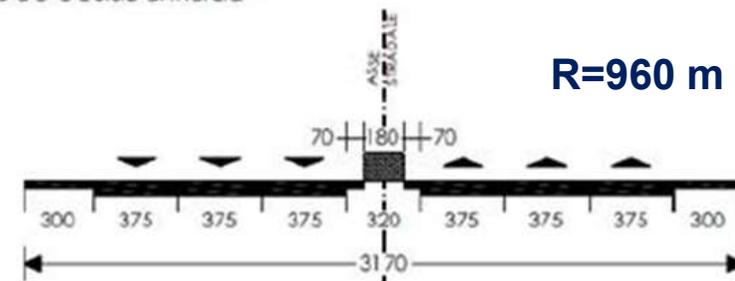


Parametro Clotoid
Tipo A - Urbana

CATEGORIA A AUTOSTRADE
AMBITO URBANO

Principale Vp min. 80 Vp max. 140
Servizio Vp min. 40 Vp max. 60

Soluzione a 3+3 corsie di marcia

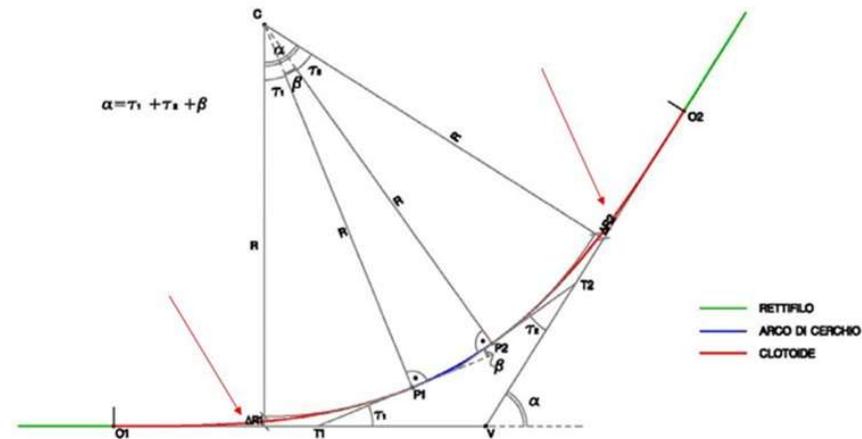


- Amin
- Amax
- - Aceff
- · Aimax

Tipo A - Urbana

| R | V | Lc | Amin |
|------|-----|----|------|
| 250 | 80 | 56 | 107 |
| 340 | 90 | 63 | 132 |
| 440 | 100 | 69 | 161 |
| 550 | 110 | 76 | 193 |
| 670 | 120 | 83 | 227 |
| 800 | 130 | 90 | 267 |
| 960 | 140 | 97 | 320 |
| 1100 | 140 | 97 | 367 |
| 1600 | 140 | 97 | 533 |

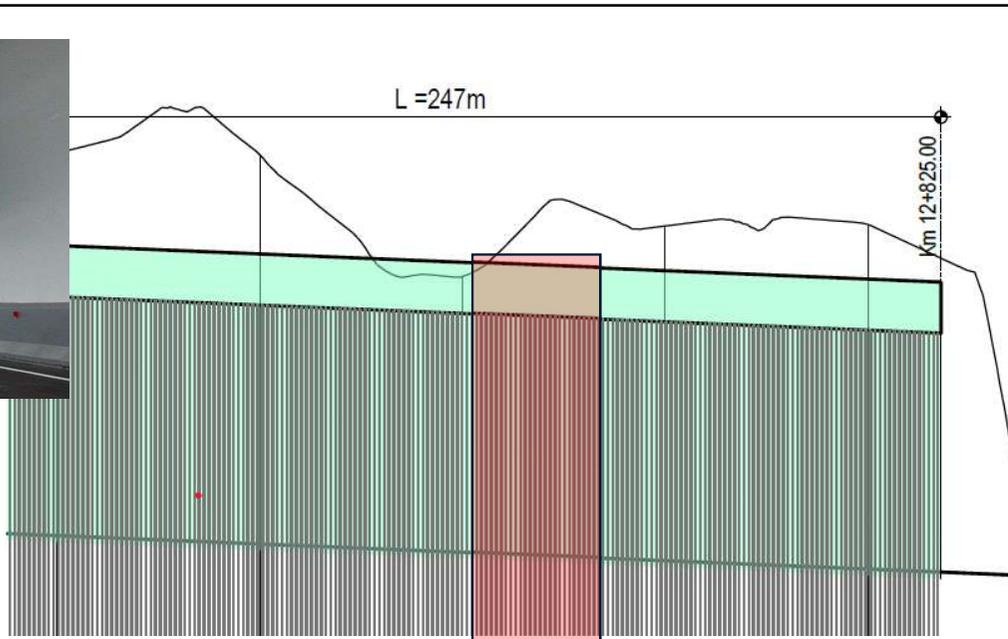
Verifiche in base al D.M. 2001



| ✓ 38 Clotoide - N. 20 | Parametro A: 320,000 | Lunghezza: 106,67 | Elemento | Riferimento | Velocità |
|--|----------------------|-------------------|----------|-------------|----------|
| ● Parametro A minimo da limitazione della pendenza longitudinale dei cigli | 320,000 | | 320,000 | 228,62 | 140,00 |
| ● Parametro A minimo da criterio ottico | 320,000 | | 320,000 | 320,00 | |
| ● Parametro A massimo da criterio ottico | 320,000 | | 320,000 | 960,00 | |
| ● Parametro A minimo da limitazione del contraccollo Formula esatta | 320,000 | | 320,000 | 303,57 | 140,00 |

| ⚠ 39 Raccordo - N. 12 | Raggio: 960,00 | Lunghezza: 29,87 | Elemento | Riferimento | Velocità |
|--|----------------|------------------|----------|-------------|----------|
| ● Raggio minimo in funzione della velocità | | | 960,00 | 251,97 | 80,00 |
| ● Lunghezza minima per una corretta percezione | | | 29,87 | 97,03 | 139,73 |

| ✓ 40 Clotoide - N. 21 | Parametro A: 320,000 | Lunghezza: 106,67 | Elemento | Riferimento | Velocità |
|--|----------------------|-------------------|----------|-------------|----------|
| ● Parametro A minimo da limitazione della pendenza longitudinale dei cigli | 320,000 | | 320,000 | 228,62 | 140,00 |
| ● Parametro A minimo da criterio ottico | 320,000 | | 320,000 | 320,00 | |
| ● Parametro A massimo da criterio ottico | 320,000 | | 320,000 | 960,00 | |
| ● Rapporto parametri A da criterio ottico | 0,914 | | 0,914 | 0,667 | |
| ● Parametro A minimo da limitazione del contraccollo Formula esatta | 320,000 | | 320,000 | 303,57 | 140,00 |



| | | | | |
|----------------------------------|---|--|--|---|
| ANDAMENTO PLANIMETRICO | $A = 320.000$ $Sv = 106.67$ $Tau = -3.54$ $Dr = 0.49$ | $R = 960.00$ $Sv = 29.87$ $a = 1.98$ | $A = 320.000$ $Sv = 106.67$ $Tau = 3.54$ $Dr = -0.49$ | $A = 350.000$ $Sv = 127.60$ $Tau = 4.23$ $Dr = 0.71$ |
| SOPRAELEVAZIONI | Sx -- 0.000% 2.500% 5% $Di = 1.125\%$ $Di = -1.125\%$ | $Di = 0.620\%$ 7.000% $Di = -0.620\%$ | $Di = -0.620\%$ 2.500% 0.000% 2.500% $Di = -1.125\%$ $Di = 1.125\%$ $Di = 1.125\%$ $Di = -1.125\%$ | $Di = 0.493\%$ $Di = -0.493\%$ |
| Dx | -2.500% | -7.000% | -2.500% | -2.500% |
| Ext | | 2.59 | 2.59 | |
| ALLARGAMENTI VISIBILITÀ CARR. SX | | | | 3.11 |
| Int | | | | |

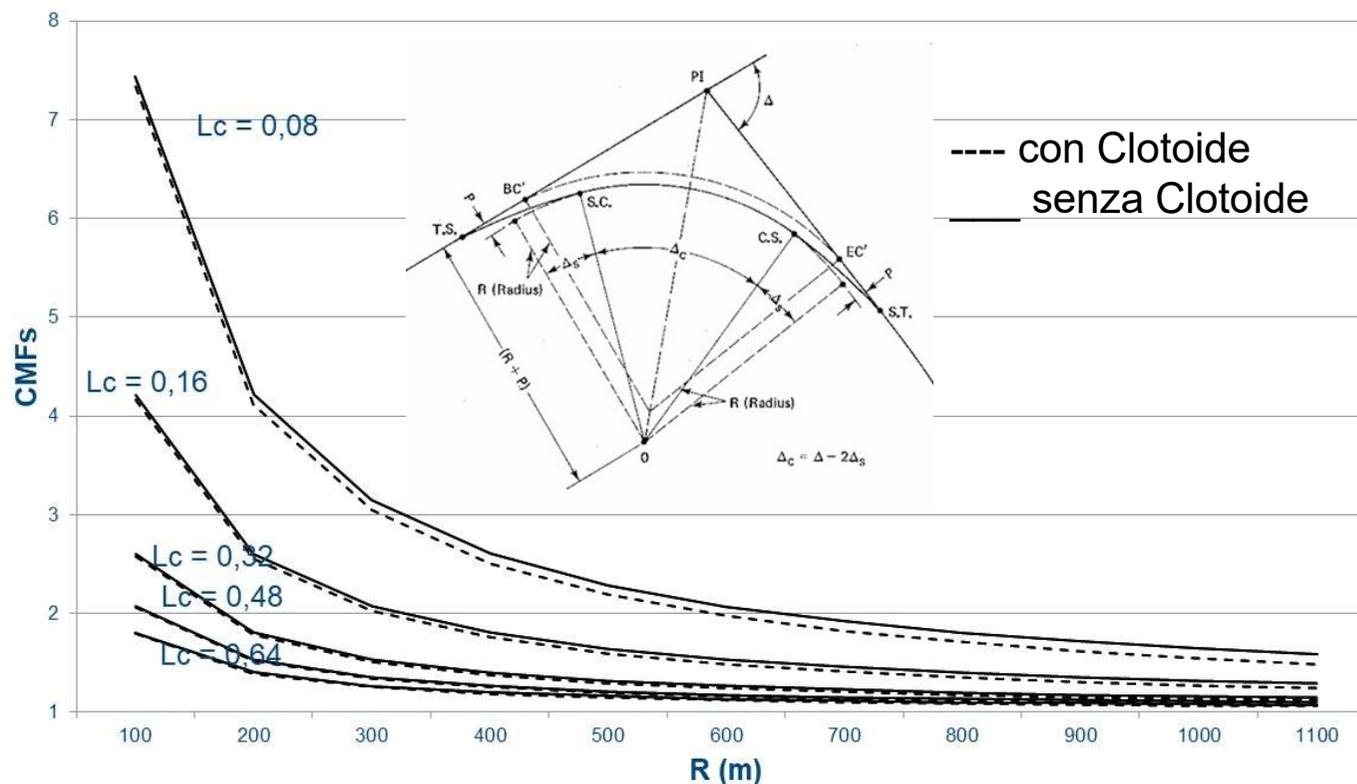
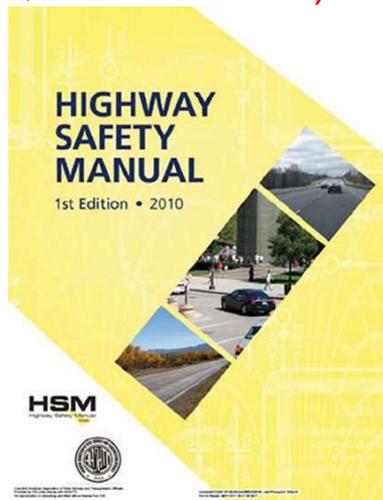
CMF: Curve planimetriche (base rettifilo)

$$CMF_c = \frac{1,55 \times Lc + \left(\frac{80,2}{R}\right) - 0,012 \times S}{1,55 \times Lc}$$

| R | L | S | CMF |
|-----|-----|---|------|
| 960 | 263 | 1 | 1.05 |
| 960 | 263 | 0 | 1,10 |

Δ CMF=0,05 !

- **Lc** = Lunghezza della curva (Inclusi gli elementi geometrici a raggio variabile) [migliaia]
- **R** = Raggio della curva [ft]
- **S** = Presenza della clotoide (1 se presente, 0 se assente)



AASHTO, 2018

MAXIMUM SPIRAL RADIUS

An upper limit on curve radius can be established such that only radii below this maximum are likely to obtain safety and operational benefits from the use of spiral transition curves. It is recommended that the maximum radius for use of a spiral should be based on a minimum lateral acceleration rate of **1.3 m/s²**.

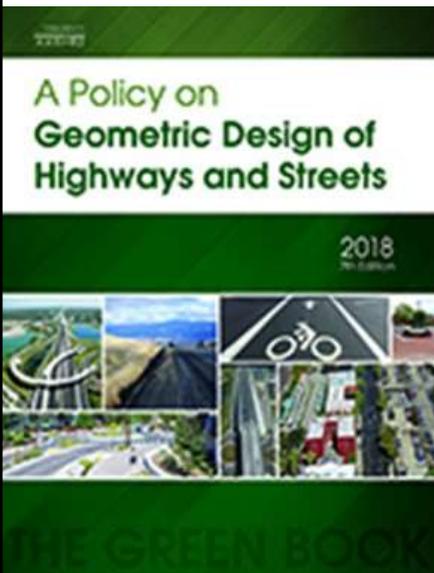
| Design speed (km/h) | Maximum radius (m) |
|---------------------|--------------------|
| 20 | 24 |
| 30 | 54 |
| 40 | 95 |
| 50 | 148 |
| 60 | 213 |
| 70 | 290 |
| 80 | 379 |
| 90 | 480 |
| 100 | 592 |
| 110 | 716 |
| 120 | 852 |
| 130 | 1000 |

DESIRABLE LENGTH OF SPIRAL

the most desirable operating conditions were noted when the spiral curve length was approximately equal to the length of the **natural spiral path adopted by drivers**. Differences between these two lengths resulted in operational problems associated with large lateral velocities or shifts in lateral position at the end of the transition curve. These lengths correspond to **2.0 s of travel time** at the design speed of the roadway.

If the desirable spiral value is less than the calculated minimum spiral curve length, use the minimum length for design.

| Design Speed (km/h) | Spiral Length (m) |
|---------------------|-------------------|
| 20 | 11 |
| 30 | 17 |
| 40 | 22 |
| 50 | 28 |
| 60 | 33 |
| 70 | 39 |
| 80 | 44 |
| 90 | 50 |
| 100 | 56 |
| 110 | 61 |
| 120 | 67 |
| 130 | 72 |



MAXIMUM SPIRAL LENGTH

Spirals should not be so long (relative to the length of the circular curve) that drivers are misled about the sharpness of the approaching curve. A conservative maximum length of spiral that should minimize the likelihood of such concerns can be computed as:

$$L_{max} = \sqrt{24 \cdot R \cdot DR_{max}}$$

R: radius of curve (m)

DR_{max}: maximum lateral offset between the tangent and Circular Curve = **1.0 m**

This value is consistent with the maximum lateral shift that occurs as a result of the natural steering behavior of most drivers. It also provides a reasonable balance between spiral length and curve radius.

MINIMUM SPIRAL LENGTH

Criteria based on **driver comfort (a)** are intended to provide a spiral length that allows for a comfortable increase in lateral acceleration as a vehicle enters a curve. The criteria based on **lateral shift (b)** are intended to provide a spiral curve that is sufficiently long to result in a shift in a vehicle's lateral position within its lane that is consistent with that produced by the vehicle's natural spiral path.

$$a) L_{min} = \frac{0.0214 \cdot V^3}{R \cdot C} \quad \text{or} \quad b) L_{min} = \sqrt{24 \cdot R \cdot DR_{min}}$$

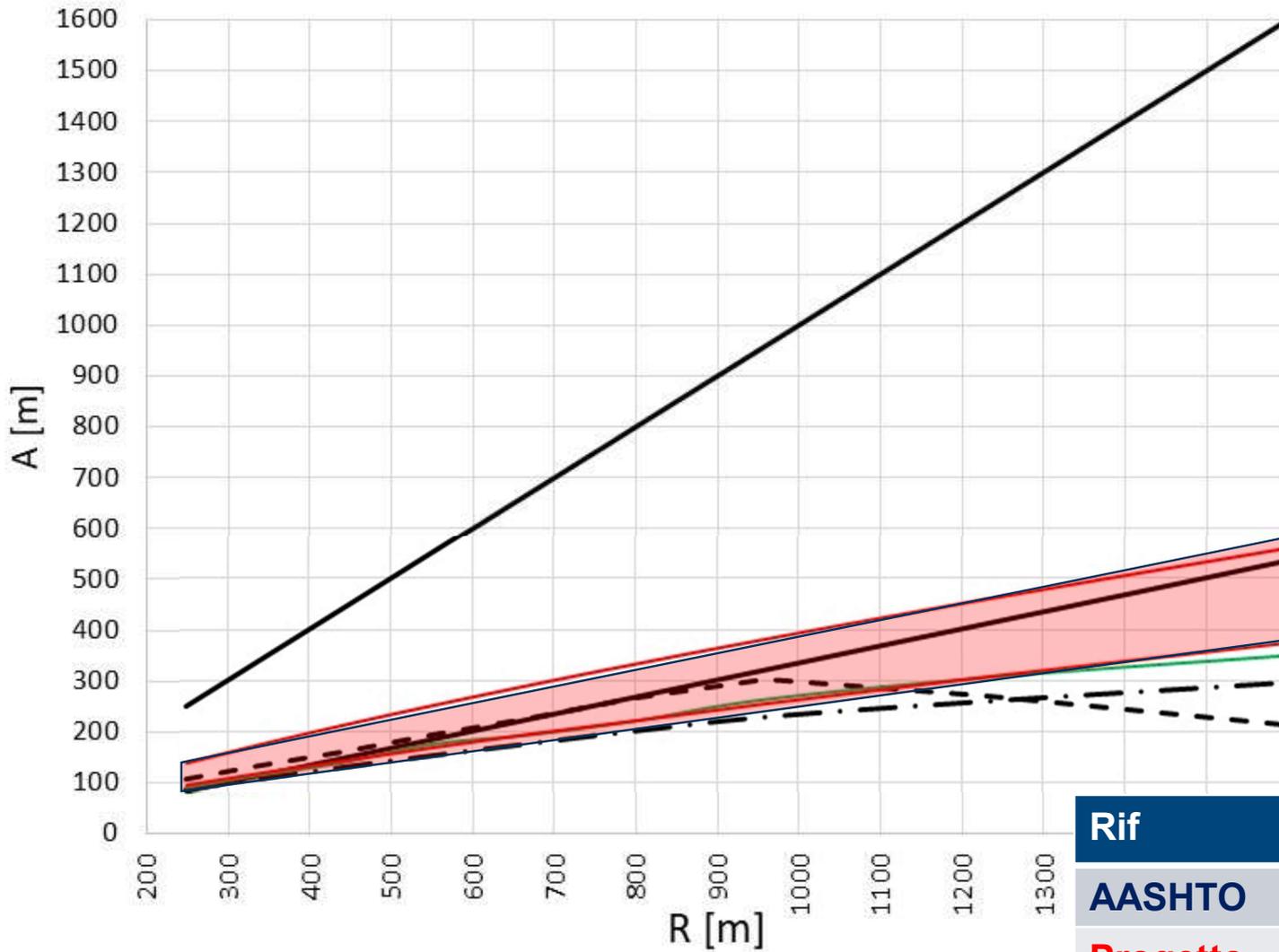
C: maximum rate of change in lateral acceleration (**1.2 m/s³**)

V: design speed (km/h)

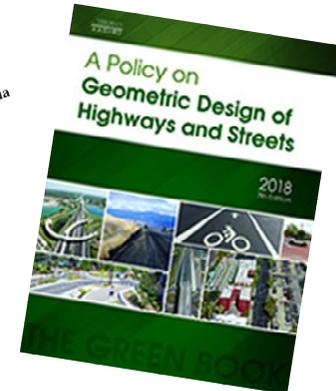
R: radius of curve (m)

DR_{min}: minimum lateral offset between the tangent and Circular Curve = **0.2 m**

D.M. 2001 vs. AASHTO 2018



MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE
E DEI TRASPORTI
DECRETO 5 novembre 2001.
Norme funzionali e geometriche per la
costruzione delle strade.



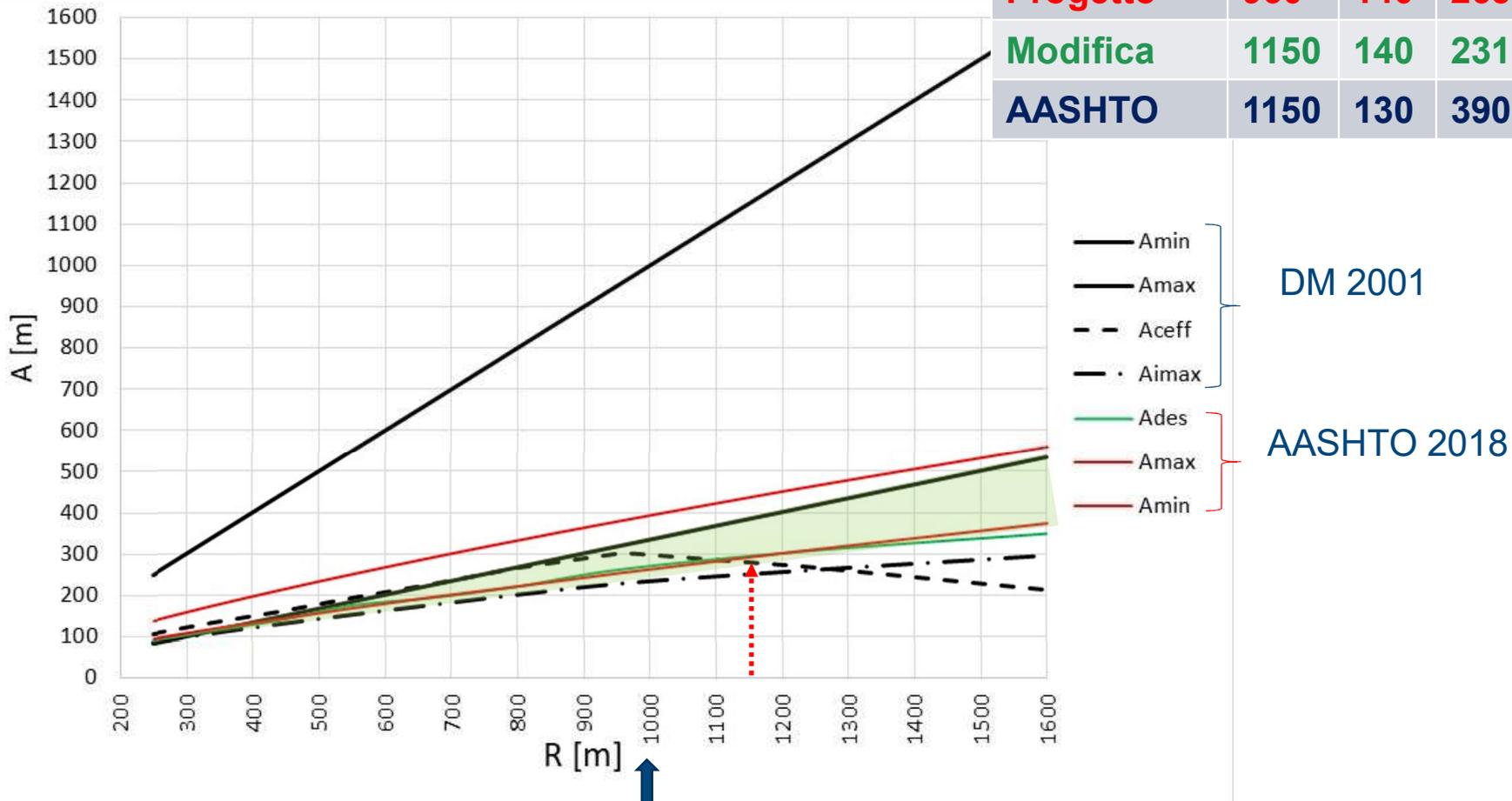
- Amin
 - Amax
 - - Aceff
 - · Aimax
 - Ades
 - Amax
 - Amin
- DM 2001
- AASHTO 2018

| Rif | R | V | Lt | Lc | Lcl | Amin |
|-----------------|------------|------------|------------|-----------|------------|------------|
| AASHTO | 960 | 130 | 390 | 180 | 105 | 255 |
| Progetto | 960 | 140 | 263 | 29 | 107 | 320 |

Raccomandazioni

| Elemento | Verifica | richiesto | progett o | Raccomandazione |
|----------------------|-------------|-----------|--------------|-----------------------------|
| 13 – rettifilo – N.2 | Lunghezza | 360 | 261.63 | Migliorare |
| 1 Rettifilo N.1 | Lunghezza | 360 | 105.94 | Migliorare |
| 3 Rettifilo N.2 | Lunghezza | 360 | 275.17 | Migliorare |
| 27 Rettifilo N.6 | Lunghezza | 360 | 234.75 | Migliorare |
| 39 Curva N.12 | Lunghezza | 97.03 | 29.87 | Adeguare |
| 48 Curva N.15 | Lunghezza | 97.22 | 23.47 | Adeguare |
| 50 Rettifilo N.8 | Lunghezza | 360 | 305.73 | Eventualmente migliorare |
| 4-5 Clotoide 2-3 | Falso ovale | | | Adeguare con rettifilo Lmin |

| Rif | R | V | Lt | Lc | Lcl | A |
|-----------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Progetto | 960 | 140 | 263 | 29 | 107 | 320 |
| Modifica | 1150 | 140 | 231 | 94 | 68 | 280 |
| AASHTO | 1150 | 130 | 390 | 180 | 105 | 290 |

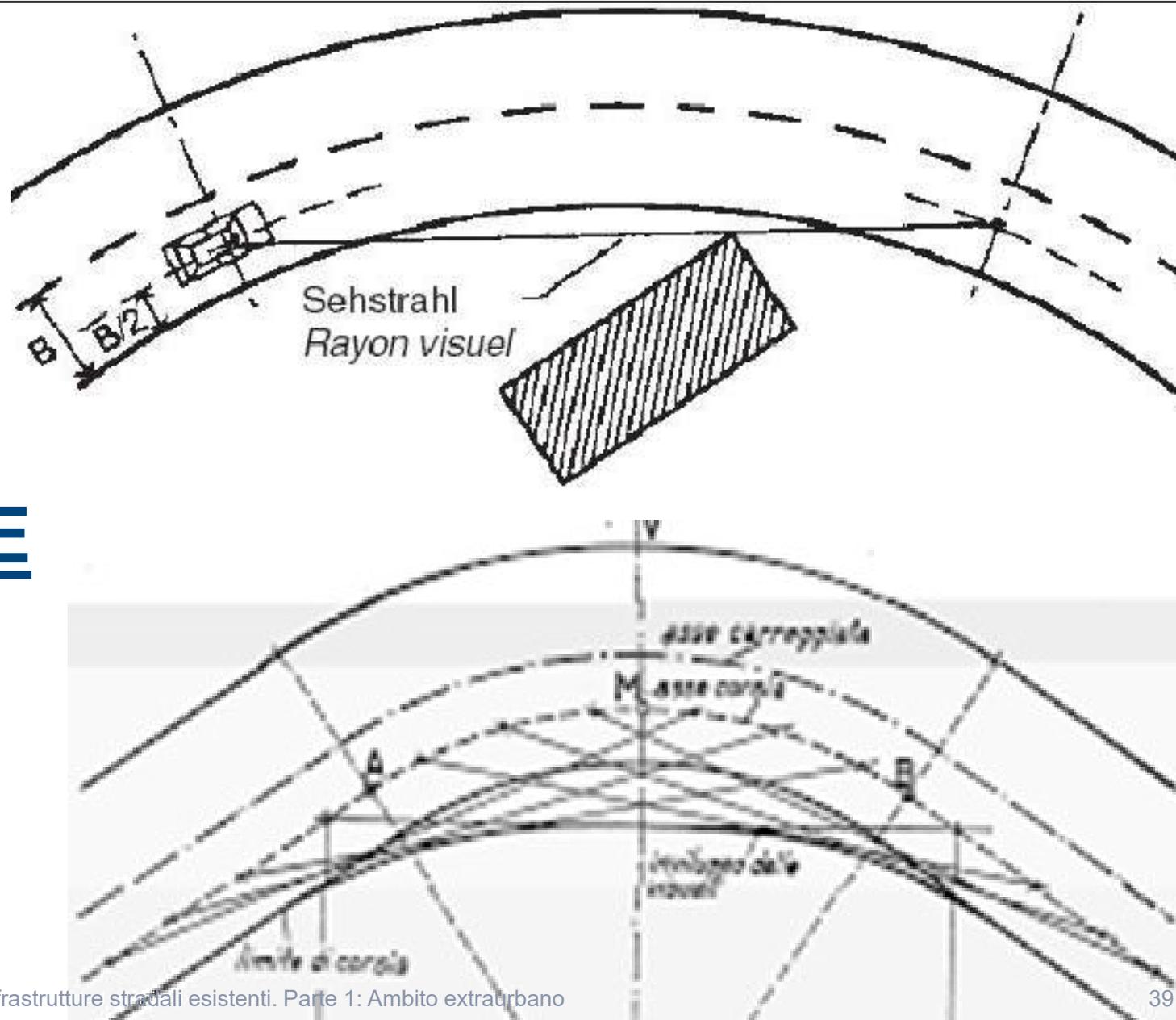


Maximum spiral
radius 130 km/h

Adeguamento tronco Autostradale Caso studio 2

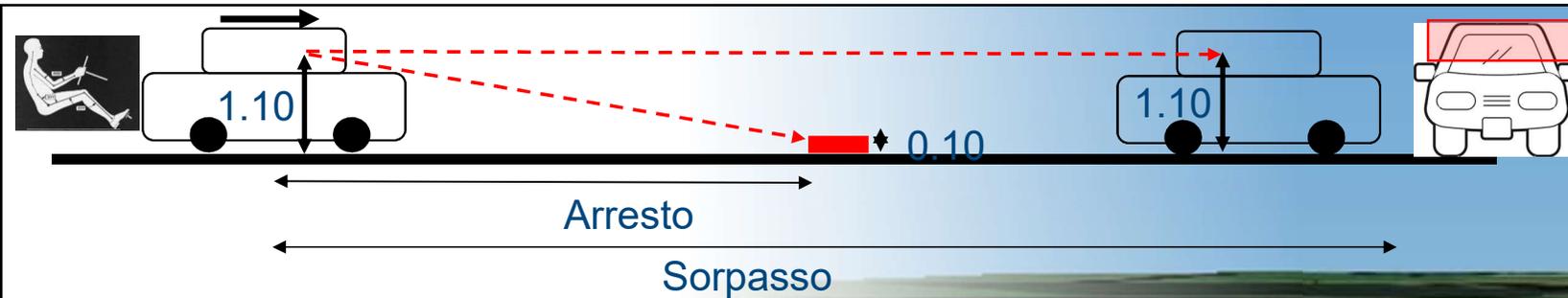
Allargamento in Curva per visibilità

VISIBILITA' LUNGO IL CIGLIO INTERNO DELLE CURVE CIRCOLARI

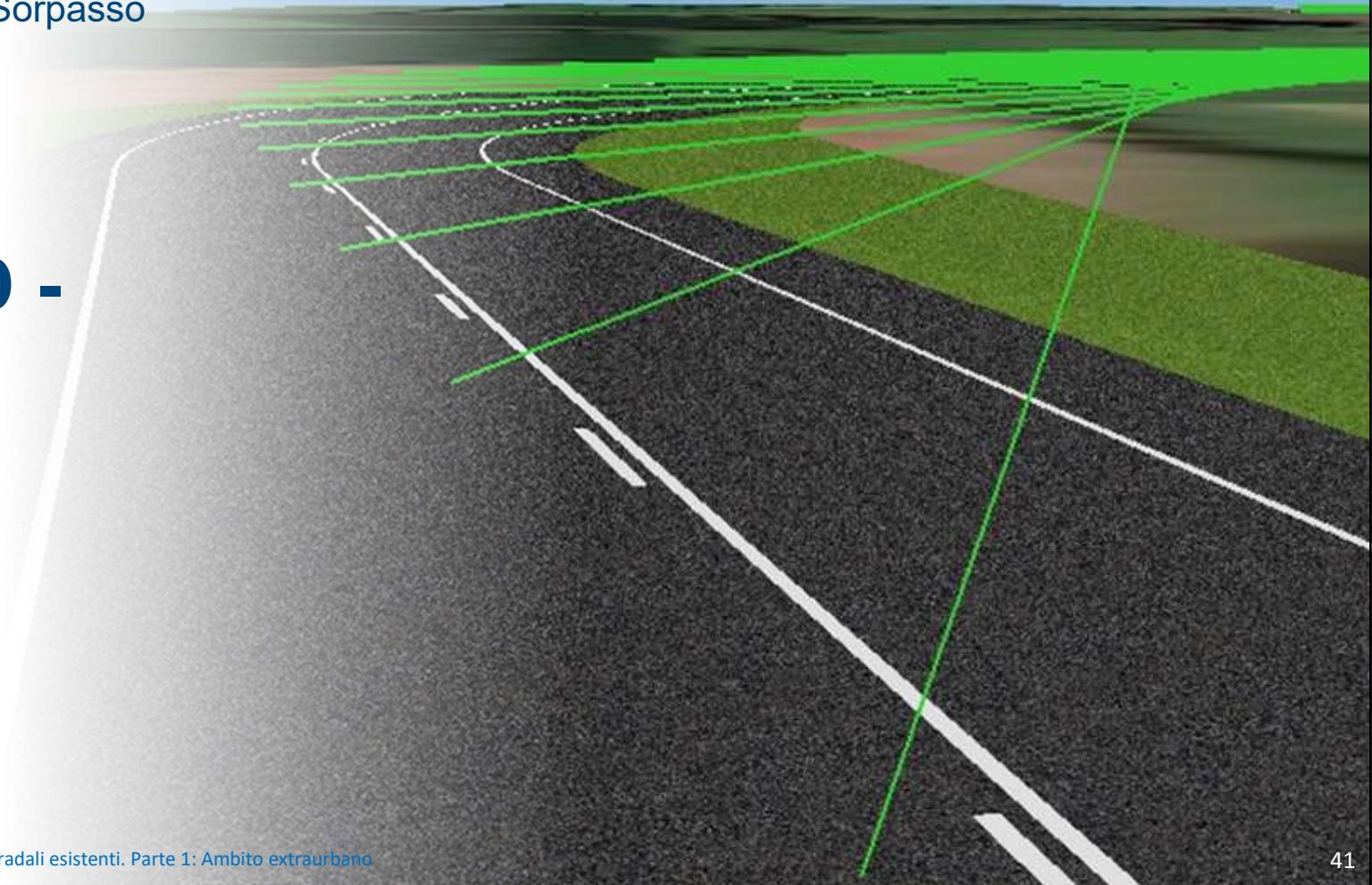


Ostacoli alla visibilità in curva





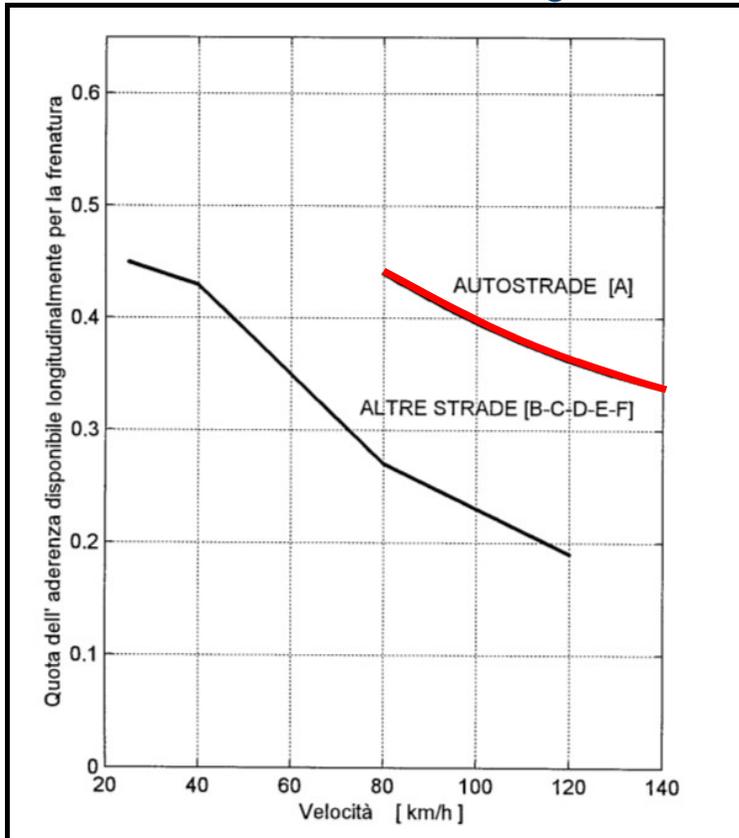
Progettazione in ambiente CAD 3D - BIM



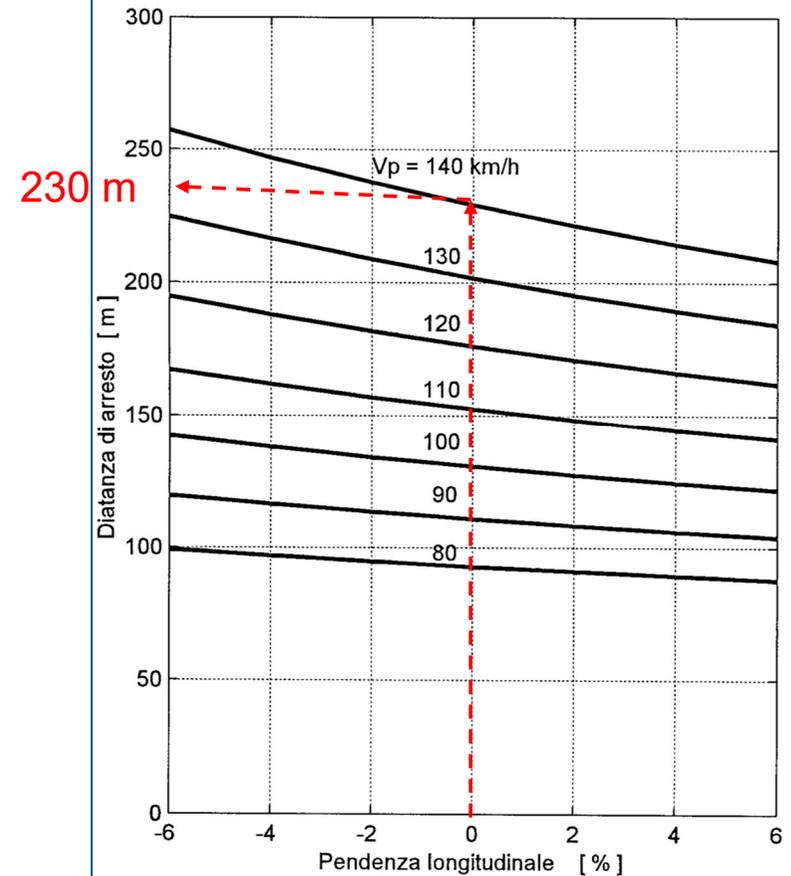
Formula di progetto della distanza di arresto (D.M. 2001)

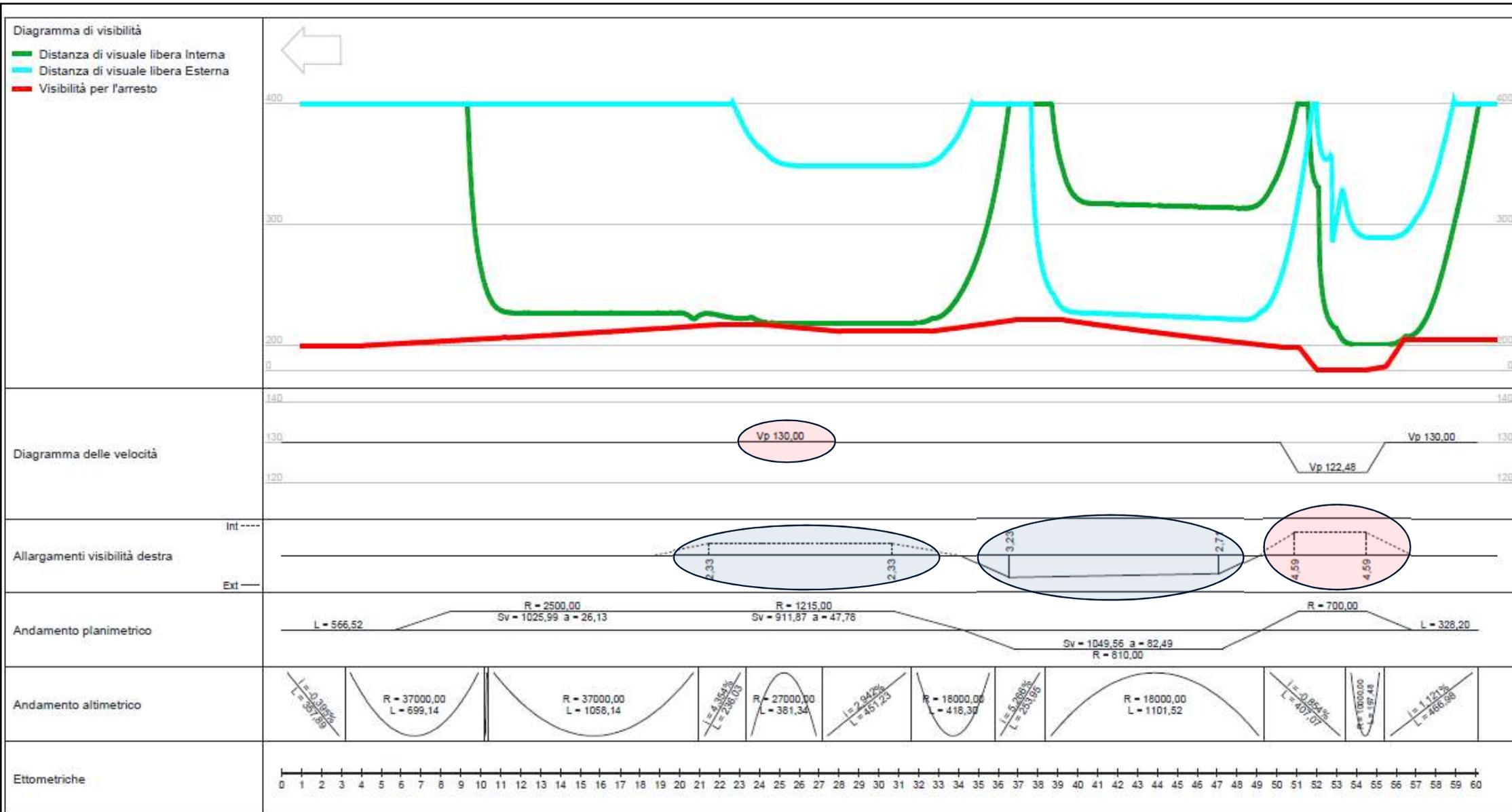
$$D_A = D_1 + D_2 = \frac{V_0}{3,6} \times (2,8 - 0,01V) + \frac{1}{3,6^2} \int_{V_0}^{V_1} \frac{V}{9,81 \times \left[f_l(V) \pm \frac{i}{100} \right] + 2,61 \times 10^{-5} V^2} dV$$

Coefficiente di aderenza longitudinale



Distanza arresto autostrade





CRITICITÀ

- Costi di Costruzione e occupazione suolo
- Possibilità di auto in sosta con ulteriore limitazione della visibilità
- Pericolo di utilizzo come corsia di sorpasso per larghezze superiori a 3,6 m (AASHTO)



PROPOSTA PROGETTUALE:
Utilizzo di coefficienti di aderenza più alti

Coefficiente di Aderenza Longitudinale

AASHTO, 2018:

Studies documented in the literature (19) show that most drivers decelerate at a rate greater than 4.5 m/s^2 when confronted with the need to stop for an unexpected object in the roadway. Approximately **90 percent** of all drivers decelerate at rates greater than **3.4 m/s^2** . Such decelerations are within the driver's capability to stay within his or her lane and maintain steering control during the braking maneuver on wet surfaces.

Implicit in the choice of this deceleration threshold is the assessment that most vehicle braking systems and the tire-pavement friction levels of most roadways are capable of providing a deceleration rate of at least $3.4 \text{ m/s}^2 = 0.35 \text{ g}$

$$f_a = 3.4/9.81 = 0.35$$

The friction available on most wet pavement surfaces and the capabilities of most vehicle braking systems can provide braking friction that exceeds this deceleration rate.

D.M. 2001:

Coefficiente equivalente f_e

| V [km/h] | Autostrada | Altre Strade |
|-------------|------------|--------------|
| 30 | - | 0,51 |
| 40 | - | 0,48 |
| 50 | - | 0,46 |
| 60 | - | 0,43 |
| 70 | - | 0,40 |
| 80 | 0,51 | 0,38 |
| 90 | 0,49 | 0,36 |
| 100 | 0,47 | 0,35 |
| 110 | 0,46 | 0,33 |
| 120 | 0,45 | 0,31 |
| 130 | 0,44 | - |
| 140 | 0,43 | - |

Altezza Ostacolo

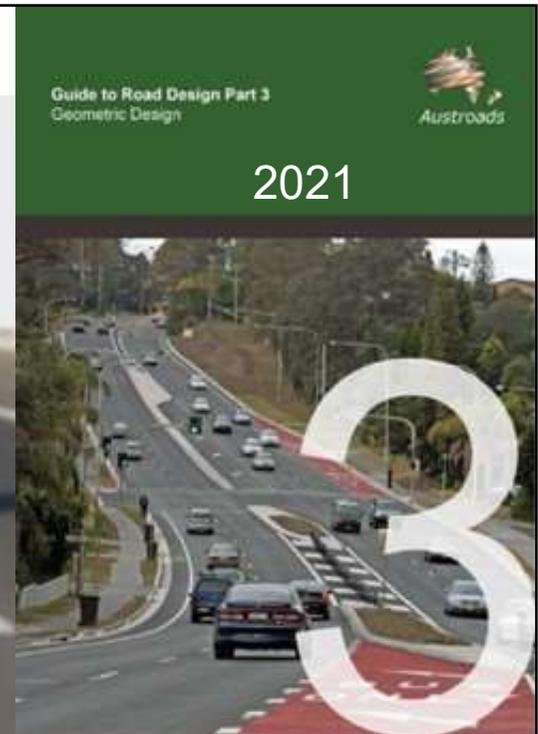
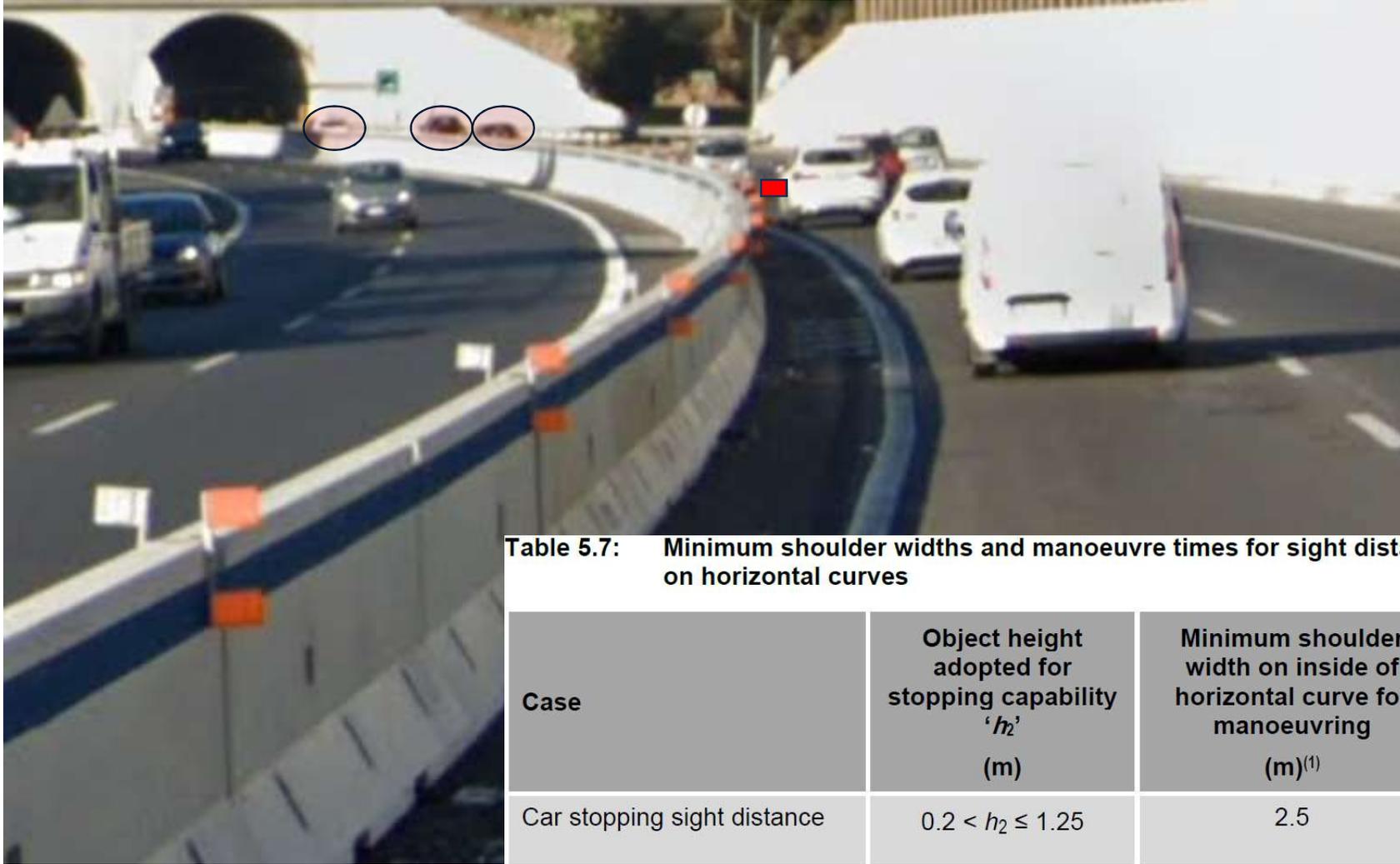


Table 5.7: Minimum shoulder widths and manoeuvre times for sight distances over roadside safety barriers on horizontal curves

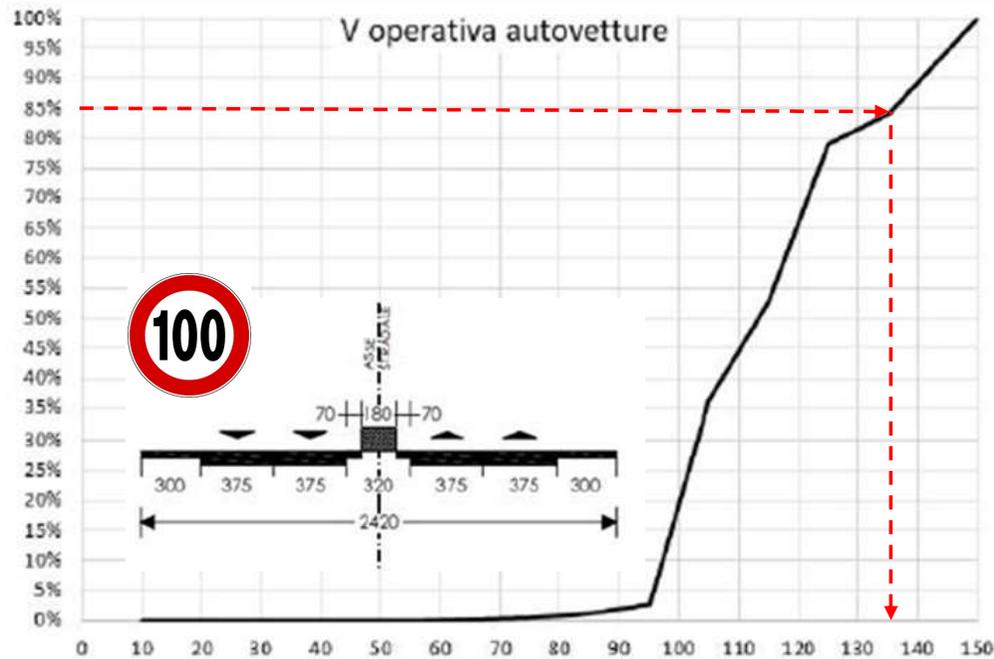
| Case | Object height adopted for stopping capability ' h_2 ' (m) | Minimum shoulder width on inside of horizontal curve for manoeuvring (m) ⁽¹⁾ | Minimum manoeuvre time at the 85 th percentile vehicle speed (s) ⁽²⁾ |
|-------------------------------|---|---|--|
| Car stopping sight distance | $0.2 < h_2 \leq 1.25$ | 2.5 | Reaction time plus 2.5 s to a 0.2 m high object. |
| Truck stopping sight distance | $0.8 < h_2 \leq 1.25$ | 3.5 | Reaction time plus 3.0 s to a 0.8 m high object |

Verifiche DM 2001

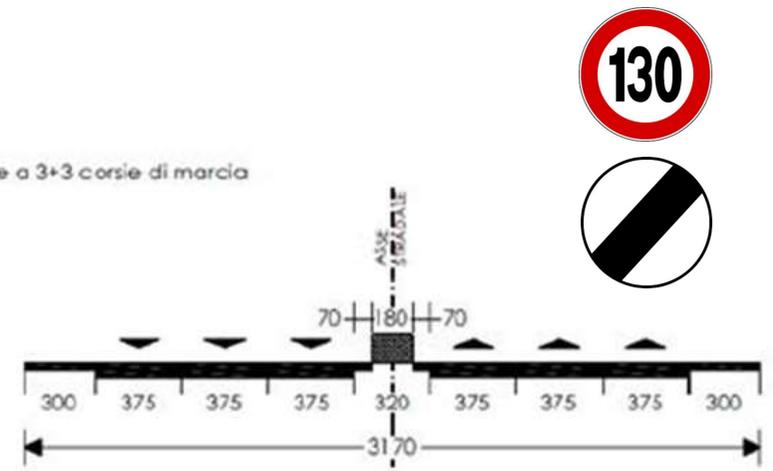
Velocità Operativa vs. Velocità di progetto

Soluzione a 3+3 corsie di marcia

Situazione attuale



Progetto
 $V_{p,max}$ 140 km/h



Controllo velocità



Problema: sebbene la garanzia della visibilità pari alla distanza di arresto in curva rappresenti una condizione da verificare e tendenzialmente da soddisfare secondo la normativa (DM2001), l'adozione rigorosa di tale verifica può comportare allargamenti del margine interno poco sostenibili economicamente e che potrebbero creare altre problematiche di sicurezza per eccessiva larghezza della piattaforma con possibili comportamenti a rischio da parte degli utenti (invasione involontaria, sorpasso, sosta di emergenza, ...)

Raccomandazione: si raccomanda di approfondire l'entità dell'allargamento in curva necessario per la distanza di visibilità per l'arresto e qualora si scelga di limitarlo rispetto al valore a cui tendere secondo quanto previsto dal D.M.2001, si raccomanda di valutarne la dimensione tenendo presente i seguenti aspetti:

- controllo delle velocità operative (V85) che potrebbero essere superiori alla V_p in assenza di sistemi efficaci di controllo delle velocità (es. Tutor), che si ritengono comunque necessari lungo l'intera tratta;
- dovrebbe essere sempre verificata la distanza di arresto almeno per la visibilità di un veicolo fermo sulla corsia di marcia (es. h:1.10 m). Per ostacoli di minore altezza (es. 0.2 m), se non è garantita la distanza di arresto, dovrebbe essere garantita la distanza per l'esecuzione di una manovra di evasione e almeno disponibile una larghezza di margine adeguata per le autovetture (es. 2.5 m, altezza occhio 1.10 m), o maggiore nel caso di verifica per autocarri (e.s. 3.5 m, altezza occhio 2.2 m);
- nel caso si faccia riferimento per i calcoli a valori di aderenza più prestazionali della pavimentazione considerando l'impiego di strati di usura a maggiore aderenza, rispetto a quanto previsto dal D.M. 2001, si deve tener conto del limite di impegno per frenatura in curva (ellisse di aderenza) e occorre prevedere in esercizio piani di controllo periodici del coefficiente di aderenza e manutenzione della pavimentazione.
- Come ulteriore misura mitigativa si può prendere in considerazione che con la realizzazione della Smart Road per attuare programmi di monitoraggio in tempo reale di eventuali veicoli fermi, avviso agli utenti con pannelli a messaggio variabile o sistemi C-ITS V2X, monitoraggio e controllo attivo della velocità in condizioni critiche di flusso.

Considerazioni conclusive

- I Controlli di sicurezza rappresentano un ulteriore contributo all'innalzamento della qualità dei progetti
- Il controllo di sicurezza non sostituisce la normativa, ma la integra
- L'approccio prestazionale consente di introdurre flessibilità per adattare il progetto alle specifiche condizioni locali (practical design)
- È necessario un aggiornamento della normativa Italiana sulla progettazione stradale (D.M. 2001!)

Con il contributo incondizionato di



I CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI **INGEGNERI**



La progettazione di opere di adeguamento di infrastrutture stradali esistenti

Quadro normativo e scelte tecniche
Parte 1: Ambito Extraurbano

Grazie per l'attenzione

Salvatore Damiano Cafiso

Dipartimento Ingegneria Civile e Architettura
Università di Catania
dcafiso@unict.it