



Politecnico di Torino

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea in Ingegneria Civile

A.A. 2022/2023

Sessione di Laurea Ottobre 2023

CANTIERI AUTOSTRADALI IN CONDIZIONI DI SCARSA VISIBILITÀ: Confronto tra le normative e proposte integrative

Relatore:

Prof. Giuseppe Chiappinelli

Co-relatore:

Ing. Giorgia Rizzo

Tesi di Laurea di:

Gian Rocco Nuccio

Matricola 279657

Alla mia famiglia che mi è sempre stata vicino nonostante fossi dall'altra parte dell'Italia. Ai pacchi di mia madre e i consigli saggi di mio padre. Alle mie sorelle e alla nonna Lucia, la prima a credere in me e che tanto avrebbe voluto esserci oggi. Agli zii e cugini con i quali ogni occasione è buona per organizzare una tavolata infinita.

Agli amici di una vita che hanno fatto volare questi anni bellissimi, chi a Torino, chi in giro per l'Italia e chi a Tricase ma tutti sempre con me. Agli anni in via Tripoli dove sono cresciuto come persona ma soprattutto studente. Alle serate Torinesi e alle vacanze salentine, il giusto riposo alla fine delle sessioni.

Agli amici Geometri che mi hanno cambiato la vita, mi hanno visto arrivare smarrito e ne sono uscito Ingegnere.

Sommario

L'obiettivo della tesi è quello di analizzare i cantieri autostradali in Italia, suddivisi in relazione alla durata dei lavori, alla corsia interessata e alla tipologia di intervento che deve essere effettuato. La chiusura di una corsia (o più di una) è spesso causa di congestione del traffico che inevitabilmente incrementa la probabilità di incidenti. Una corretta gestione del cantiere e della relativa segnaletica di preavviso e protezione può migliorare la visibilità dello stesso e la viabilità della rete.

Particolare attenzione è stata posta sul confronto tra la normativa italiana che regola i cantieri autostradali e il regolamento interno dell'azienda Tecne S.P.A, la società di ingegneria del gruppo Autostrade per l'Italia, che gestisce circa 3000 Km della rete autostradale Italiana. Dopo una prima panoramica sulla suddivisione che viene proposta dai due regolamenti per una corretta individuazione della tipologia di cantiere e le problematiche che tale suddivisione può provocare, sono stati confrontati nel dettaglio tutti gli schemi segnaletici adottati dal regolamento, con quelli proposti dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti nel D.M. 10 luglio 2002 che stabilisce i requisiti minimi da adottare nelle diverse situazioni.

Dallo studio è emerso un vuoto normativo riguardante la presenza di curve a raggio ristretto o raccordi altimetrici nei pressi del cantiere che possono compromettere la corretta visibilità di quest'ultimo ai conducenti che usufruiscono della rete autostradale. Per questo motivo si è deciso di analizzare approfonditamente il problema e cercare di fornire delle basi di partenza per un eventuale integrazione della normativa italiana e di conseguenza del regolamento interno dell'azienda.

Sono stati realizzati dei modelli semplificati che permettono una rapida valutazione della visibilità in funzione di parametri geometrici che compongono la curva e sono stati riportati nell'appendice del documento. Note le distanze di visibilità sono stati realizzati poi degli schemi segnaletici alternativi nei casi in cui non si garantisce la sicurezza ai conducenti della rete autostradale e sono state elaborate delle proposte con l'impiego di dispositivi integrativi per una migliore gestione dei cantieri.

Da un'analisi sui dati ufficiali sugli incidenti nelle principali autostrade Europee si individueranno, attraverso parametri di confronto, quelle che possono essere definite le autostrade più sicure. Da queste si cercheranno delle differenze rispetto ai regolamenti Italiani che verranno proposte per eventuali modifiche future nella legislazione. Le carenze procedurali evidenziate nell'elaborato verranno messe a confronto con le Normative di altri Paesi UE per verificare se quanto proposto dal lavoro di tesi è coerente con quello già previsto dagli altri Paesi. Spesso infatti altre legislazioni sono già state affrontate molte problematiche messe in risalto nell'elaborato attraverso soluzioni alternative che hanno già subito numerose sperimentazioni riportate in studi scientifici.

Abstract

The objective of the thesis is to analyze highway construction sites in Italy, categorized based on the duration of the work, the affected lane, and the type of intervention required. The closure of one or more lanes often leads to traffic congestion, inevitably increasing the likelihood of accidents. Proper management of the construction site and related warning and protection signage can improve its visibility and the overall road network's traffic flow.

Particular attention has been given to comparing the Italian regulations governing highway construction sites with the internal regulations of Tecne S.P.A, the engineering company within the Autostrade per l'Italia group, responsible for managing approximately 3000 kilometers of the Italian highway network. After an initial overview of the categorization proposed by the two sets of regulations to correctly identify the type of construction site and the issues that such categorization may cause, all the signage schemes outlined in the regulations were compared in detail with those proposed by the Ministry of Infrastructure and Transport in the Ministerial Decree of July 10, 2002, which establishes minimum requirements for various situations.

The study revealed a regulatory gap concerning the presence of tight-radius curves or changes in road elevation near the construction site, which can compromise its visibility to drivers using the highway network. For this reason, a thorough analysis of the problem was conducted, aiming to provide a foundation for potential integration of Italian regulations and, consequently, the internal company regulations.

Simplified models were developed to allow for a quick evaluation of visibility based on geometric parameters of the curve and were included in the document's appendix. Given visibility distances, alternative signage schemes were also developed in cases where driver safety on the highway network could not be guaranteed. Proposals with the use of additional devices for better construction site management were also developed.

By analyzing official data on accidents on major European highways and comparing them through various parameters, the safest highways will be identified. Differences from Italian regulations will be explored and suggested for potential future legislative changes. The procedural shortcomings highlighted in the thesis will be compared with the regulations of other EU countries to verify whether the proposals align with what is already provided by other nations. Often, other legislations have already addressed many of the issues highlighted in the thesis through alternative solutions that have undergone numerous scientific studies and experiments.

Indice		v
Introduzione		1
1 Normativa di riferimento per la gestione di un cantiere autostradale		3
1.1 Decreto Ministeriale 10 luglio 2002		3
1.1.1 Principi del segnalamento temporaneo		4
1.2 Segnali e dispositivi segnaletici		4
1.2.1 Caratteristiche dei segnali temporanei		10
1.2.2 Limitazione della velocità		11
1.2.3 Distanza tra Pannelli e Visibilità		12
1.3 Differenze tra i regolamenti sulla segnaletica Autostradale		12
1.3.1 Cantieri in posizione di scarsa visibilità		13
1.3.2 Cantieri Fissi		14
1.3.3 Le testate di chiusura della corsia		15
1.3.4 Gestione della segnaletica orizzontale per lo smaltimento del traffico		18
1.3.5 La corsia di emergenza		22
1.3.6 Cantieri Mobili		25
1.4 Confronto tra le Normative nei principali Paesi UE		32
1.4.1 Gli incidenti nelle autostrade Europee		32
1.4.2 I cantieri fissi		38
1.4.3 I cantieri mobili		48
2 Analisi della visibilità in curva dei cantieri mobili		57
2.1 Riferimenti normativi vigenti		57
2.1.1 I Pannelli a messaggio variabile		58
2.2 Progettazione di una curva		61
2.2.1 Distanze di visibilità		61
2.2.2 Curve circolari		62
2.2.3 Curve a raggio variabile		64
2.3 Analisi della visibilità planimetrica di un cantiere mobile		66
2.3.1 La sede stradale		66
2.3.2 Schema segnaletico adottato		67
2.3.3 Parametri geometrici		70
2.3.4 Analisi di una curva sinistrorsa		72

2.3.5	Analisi di una curva destrorsa	98
2.4	Analisi della visibilità altimetrica	108
2.4.1	Riferimenti normativi vigenti	108
2.4.2	Progettazione di un raccordo altimetrico	108
2.4.3	Raccordi verticali	108
2.4.4	Raccordi verticali convessi - Dossi	109
Conclusioni		113
A	Curva sinistrorsa - Chiusura corsia di marcia	119
A.1	Visibilità al di sopra dei New Jersey	119
A.2	Visibilità impedita dai New Jersey o altri fattori	125
B	Curva sinistrorsa - Chiusura corsia di sorpasso - Veicolo che viaggia sulla corsia di marcia	133
B.1	Visibilità al di sopra dei New Jersey	133
B.2	Visibilità impedita dai New Jersey o altri fattori	139
C	Curva sinistrorsa - Chiusura corsia di sorpasso - Veicolo che viaggia sulla corsia di sorpasso	147
C.1	Visibilità al di sopra dei New Jersey	147
C.2	Visibilità impedita dai New Jersey o altri fattori	153
D	Curva destrorsa	161
D.1	Chiusura corsia di marcia	161
D.2	Curva destrorsa - Chiusura corsia di sorpasso - Conducente che viaggia sulla corsia di marcia	168
D.3	Curva destrorsa - Chiusura corsia di sorpasso - Conducente che viaggia sulla corsia di sorpasso	175
E	Dati integrativi all'elaborato	183

In un contesto in cui la mobilità è sempre più centrale nella società moderna, le infrastrutture autostradali rivestono un ruolo cruciale nel garantire un efficace trasporto di persone e merci. Tuttavia, la sicurezza stradale rappresenta una delle principali sfide per gli ingegneri e le istituzioni che si occupano della progettazione, gestione e manutenzione delle reti viarie. In particolare, i cantieri autostradali emergono come una delle principali cause di incidenti, determinando gravi conseguenze sia per l'incolumità delle persone coinvolte che per l'economia nazionale. Uno studio Americano pubblicato nella fine degli anni '70 da Graham, Paulsen e Glennon "*Accident analyses of highway construction zones*" [1] ha analizzato una rete autostradale interessata da 79 cantieri, confrontando il numero di incidenti avvenuti in presenza di cantieri con i dati storici della rete in assenza degli stessi. Dalla pubblicazione è emerso un incremento del 7,5% degli incidenti in presenza di cantiere che aumenta a 9,4% durante la notte. È stato registrato inoltre un sensibile incremento degli incidenti per urto contro ostacoli fissi (+ 38,9%), per urto frontale (+ 15,2%) e dei tamponamenti (+ 16,6%). La sicurezza autostradale non è garantita solo dalla presenza di infrastrutture ben progettate e mantenute, ma anche da una corretta gestione dei cantieri che spesso invadono la carreggiata. Questi sono necessari per la manutenzione, l'ampliamento o la costruzione di nuovi tratti autostradali al fine di migliorare l'efficienza del sistema di trasporto. Tuttavia, l'apertura di un cantiere comporta anche una serie di rischi per la sicurezza dei conducenti e degli operatori che lavorano sul campo.

Il lavoro di tesi viene definito a seguito della collaborazione tra il Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI) del Politecnico di Torino e Tecne S.P.A. - Autostrade per l'Italia (ASPI), principale azienda in Italia incaricata della gestione e manutenzione di circa 3000Km di rete autostradale, nell'intento di analizzare la normativa italiana e i regolamenti interni impiegati dagli operatori per la gestione dei cantieri. Nell'ambito di questa ricerca, si intende investigare le misure di sicurezza attualmente adottate nei cantieri autostradali italiani, valutando la loro efficacia nel prevenire incidenti e minimizzare i rischi per gli utenti della strada. Saranno esaminati anche i requisiti normativi e le linee guida esistenti in materia di sicurezza autostradale, per valutare eventuali carenze o lacune che possono contribuire all'aumento degli incidenti. Si effettuerà un confronto diretto tra il D.M. 10 luglio 2002 [2] e il regolamento interno di Tecne S.p.A. - Autostrade per l'Italia [3] per analizzare eventuali differenze nella gestione dei cantieri e valutarne l'efficacia delle procedure adottate. Saranno prese in considerazione variabili come la tipologia di cantiere, la sua posizione geografica, la tipologia di carreggiata e la visibilità del cantiere ai conducenti che percorrono la strada interessata. Un aspetto particolarmente rilevante dell'analisi sarà

la valutazione dell'efficacia delle misure di sicurezza adottate nei cantieri stradali. Saranno considerati fattori come la segnaletica stradale fissa e mobile, le misure di riduzione della velocità e le procedure degli operatori. L'obiettivo è comprendere se tali misure siano efficaci nel prevenire gli incidenti e come possano essere migliorate. Una volta note tutte le procedure esistenti, si passerà a valutare eventuali carenze, andando a verificare se tutte le situazioni possibili sono regolamentate dalla Normativa Italiana e di conseguenza dal Disciplinare redatto da Tecne S.p.A [3].

Particolare attenzione verrà posta poi sulla visibilità dei cantieri nelle diverse situazioni, che sia in curva o nei pressi di un dosso, andando a definire le distanze di visibilità che ha un conducente e se queste siano sufficienti a permettergli di prendere le decisioni nei tempi giusti. Verranno costruiti dei modelli di curve e dossi andando a variare i parametri geometrici che li caratterizzano per ottenere un metro di confronto tra le diverse situazioni che possono nascere nella gestione di un cantiere nel caso di posizione geografica complessa all'interno della rete Autostradale.

Una volta analizzate le procedure adottate in Italia lo studio si concentrerà su un'analisi degli incidenti nei principali Paesi Europei, andando a confrontare i dati ufficiali sul numero di incidenti nelle varie reti autostradali in funzione di parametri come la lunghezza della rete e il numero di utenti. Successivamente si entrerà nel dettaglio dei regolamenti adottati analizzando le differenze rispetto alle procedure utilizzate in Italia.

I risultati di questa ricerca potranno contribuire alla formulazione di raccomandazioni e proposte concrete per migliorare la sicurezza dei cantieri autostradali, riducendo così il numero di incidenti e garantendo un ambiente di guida più sicuro per tutti gli utenti della strada.

Normativa di riferimento per la gestione di un cantiere autostradale

Nel panorama normativo italiano relativo alla gestione e alla sicurezza dei cantieri autostradali, il Decreto Ministeriale del 10 luglio 2002 [2] rappresenta un punto di riferimento fondamentale. Emanato con l'intento di regolamentare e garantire standard elevati di sicurezza nelle attività connesse alla realizzazione e alla gestione dei cantieri stradali, ha fornito un quadro normativo dettagliato e rigoroso.

Tuttavia, in un contesto dinamico e in continua evoluzione come quello delle infrastrutture stradali, le norme devono adattarsi alle nuove sfide e alle esigenze contingenti. In questa ottica, molte organizzazioni coinvolte nell'industria autostradale, come l'azienda Tecne S.p.A - Autostrade per l'Italia, hanno sviluppato regolamenti interni specifici per garantire la sicurezza e l'efficienza nei cantieri autostradali, prendendo spunto dal Decreto Ministeriale 10/07/2002 [2] ma introducendo anche proprie specifiche e modifiche che meglio si adattano all'evoluzione dei cantieri e delle lavorazioni.

Il presente capitolo si prefigge l'obiettivo di esaminare e confrontare in modo approfondito il D.M. 10/07/2002 [2] con il Regolamento Interno di Autostrade per l'Italia [3], evidenziando le similitudini, le differenze e le ragioni alla base delle modifiche apportate. Attraverso un'analisi critica, si intende valutare come il Regolamento Interno si discosti o si allinei al quadro normativo nazionale, esplorando le implicazioni di tali scelte sulla sicurezza, sull'efficienza operativa e sulla gestione dei cantieri autostradali.

Saranno prese in considerazione le principali aree di confronto, tra cui: i requisiti di sicurezza, la pianificazione e la gestione dei cantieri e le procedure operative. Attraverso questa analisi dettagliata, si cercherà di ottenere una panoramica chiara delle similitudini e delle divergenze tra il quadro normativo nazionale e le pratiche adottate da Autostrade per l'Italia, contribuendo così a una comprensione più approfondita dell'efficacia e dell'applicabilità del regolamento interno nell'ambito dei cantieri autostradali italiani.

1.1 Decreto Ministeriale 10 luglio 2002

Il 10 luglio 2002 è stato emanato il disciplinare tecnico diretto ai responsabili della messa in opera e del mantenimento in efficienza della segnaletica temporanea differenziando gli schemi segnaletici e le tipologie di segnali in funzione della categoria della strada [2]. Emanato per colmare il vuoto normativo evidenziato dall'art. 21 del decreto legislativo 30 aprile 1992, n. 285 - Nuovo codice della strada - e successive modificazioni [4] e dall'art. 30 del decreto del Presidente della Repubblica 16 dicembre 1992, n. 495 - Regolamento di esecuzione e di attuazione del Nuovo codice della strada - e successive modificazioni [5]. Ha lo scopo di

rappresentare attraverso numerosi esempi pratici le modalità di applicazione delle norme inerenti la segnaletica temporanea nei casi di cantieri autostradali.

Il documento contiene:

- Indicazioni degli elementi principali del segnalamento temporaneo;
- Caratteristiche dei segnali e dispositivi temporanei;
- Schemi di segnalazione temporanea nelle differenti tipologie di intervento:
 - Cantieri fissi;
 - Cantieri mobili;
 - Situazioni eccezionali (incidenti);
- Ulteriori esplicazioni;

Le istruzioni proposte concedono ai responsabili la libertà di adeguare le misure necessarie alle situazioni incontrate. In ogni caso, quelle esplicate nel decreto rappresentano delle disposizioni minime da adottare nelle varie circostanze, viene lasciata poi a chi ha le competenze necessarie la decisione di adottare le misure preventive a eventuali situazioni eccezionali che non ricadono in alcuno dei casi presentati. È necessario però il rispetto del principio di uniformità della segnaletica su tutto il territorio nazionale.

1.1.1 Principi del segnalamento temporaneo

Vengono definiti quelli che sono i principi base per una qualunque segnaletica temporanea:

- Adattamento: Gli elementi principali di cui tenere conto sono:
 - Tipologia della strada e caratteristiche geometriche (numero di corsie, presenza della corsia di emergenza, dimensioni dello spartitraffico)
 - Durata del cantiere
 - Importanza del cantiere (ingombro sulla strada, effetti sulla circolazione)
 - Localizzazione
 - Velocità consentita e tipologia del traffico
- Coerenza: In una situazione identica, è necessario che corrispondano gli stessi segnali e criteri di posizionamento;
- Credibilità: è necessario che il cantiere rispecchi ciò che il guidatore si aspetta dopo aver letto i segnali;
- Visibilità: Ogni segnale deve rispettare la forma, dimensioni, colori e simboli in modo da adeguarli alle norme internazionali sulla segnaletica. Inoltre, devono essere sostituiti se danneggiati o hanno perso la visibilità garantita dalle pellicole rifrangenti.

1.2 Segnali e dispositivi segnaletici

Allo scopo di una maggiore chiarezza nella spiegazione degli schemi segnaletici che verranno analizzati successivamente, si riportano ora i principali segnali previsti dal Codice della strada che vengono impiegati nei cantieri autostradali. Ovviamente le disposizioni che seguiranno così come i principi sopraesposti valgono in generale e sono imprescindibili, non è necessario pertanto mostrare delle differenze tra il decreto e il regolamento Tecne poiché sono delle disposizioni che si adeguano a regolamenti internazionali.

- Segnali di pericolo

- Lavori (Fig. 1.1): Viene installato nei pressi di un cantiere fisso o mobile e deve essere accompagnato da un pannello integrativo qualora l'estensione dello stesso supera i 100m



Figura 1.1: Segnale di Lavori in Corso

- Mezzi di lavoro in azione (Fig. 1.2): Impiegato quando sono presenti macchine operatrici, pale meccaniche, escavatori, uscita di autocarri, ecc... che possono interferire con il traffico della rete.



Figura 1.2: Segnale di Mezzi di lavoro in azione

- Materiale instabile sulla strada (Fig. 1.3): Viene utilizzato quando vi è la possibilità della presenza di pietrisco, ghiaia o materiale da lavoro nelle immediate vicinanze della posizione in cui è posto.



Figura 1.3: Segnale di Materiale instabile sulla strada

- Segnaletica orizzontale in rifacimento (Fig. 1.4): Utilizzato se il tratto autostradale è stato riaperto al traffico ma non presenta ancora la segnaletica orizzontale adeguata.



Figura 1.7: Segnale di chiusura corsie

- Segnale di carreggiata chiusa (Fig. 1.8): Indica la chiusura dell'intera carreggiata con conseguente passaggio alla carreggiata adiacente per il prosieguo della circolazione



Figura 1.8: Segnale di chiusura carreggiata

- Segnale di rientro in carreggiata (Fig. 1.9): Indica il rientro nella carreggiata iniziale al seguito del superamento dell'area interessata dal cantiere



Figura 1.9: Segnale di rientro in carreggiata

- Segnali di cantieri mobili o su veicoli
 - Passaggio obbligatorio per veicoli operativi (Fig. 1.10): Indicatore collocato nella parte posteriore dei veicoli operativi, delle attrezzature e dei mezzi utilizzati per lavori di manutenzione stradale, sia quando sono fermi che in movimento.



Figura 1.10: Segnale di passaggio obbligato per veicoli operativi

- Presegnale di cantiere mobile (Fig. 1.11): È disposto sulla banchina o sulla corsia di emergenza e spostato in avanti in maniera coordinata all'avanzamento dei lavori.

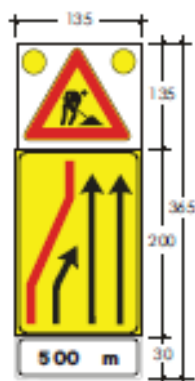


Figura 1.11: Segnale di preavviso di cantiere mobile - a terra

- Segnale mobile di preavviso (Fig. 1.12): È posizionato su un veicolo a protezione anticipata del cantiere e in movimento coordinato con l'avanzamento dello stesso.



Figura 1.12: Segnale di preavviso di cantiere mobile - su mezzo di protezione

- Segnale mobile di protezione (Fig. 1.13): È un segnale di localizzazione posto a terra o su un carrello trainato dal veicolo stesso, è spostato in maniera coordinata all'avanzamento dei lavori.



Figura 1.13: Segnale di protezione di un cantiere mobile

- Segnali complementari

- Coni (Fig. 1.14): Utilizzati come delimitazione longitudinale della corsia interessata dai lavori.

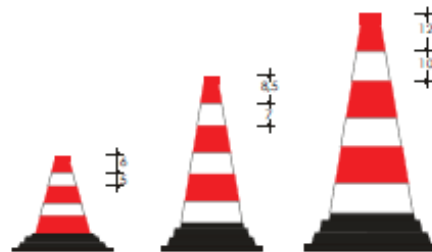


Figura 1.14: Coni

- Paletto di delimitazione (Fig. 1.15): Alternativa ai coni come delimitazione longitudinale della corsia interessata dai lavori quando la durata è superiore.



Figura 1.15: Paletto di delimitazione

- Delineatori flessibili (Fig. 1.16): Alternativa ai coni come delimitazione longitudinale della corsia interessata dai lavori.

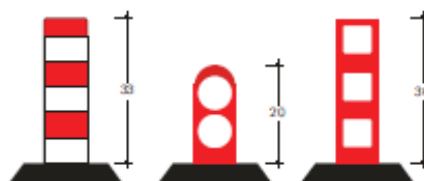


Figura 1.16: Delineatori flessibili

- Bandiera (Fig. 1.17): Utilizzata dall'operatore a terra in fase di allestimento della segnaletica di cantiere.

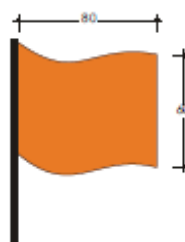


Figura 1.17: Bandiera

- Segnali luminosi
 - Dispositivo luminoso a luce gialla (Fig. 1.18): Durante la notte e in situazioni di visibilità ridotta, la chiusura della corsia che precede l'area di lavoro deve essere affiancata da dispositivi luminosi gialli lampeggianti, in sincrono o in progressione.



Figura 1.18: Dispositivo a luce gialla

- Dispositivo luminoso a luce rossa (Fig. 1.19): Nelle ore notturne e in situazioni di scarsa visibilità, le barriere di chiusura delle aree di lavoro devono essere equipaggiate con dispositivi luminosi appropriati di colore rosso, con luce fissa (almeno una lampada ogni 1,5 metri di barriera di chiusura).

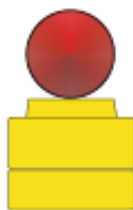


Figura 1.19: Dispositivo luminoso a luce rossa

- Freccia luminosa (Fig. 1.20)

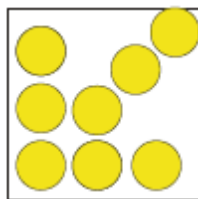


Figura 1.20: Freccia luminosa

1.2.1 Caratteristiche dei segnali temporanei

Il presente paragrafo costituisce un'analisi dettagliata delle caratteristiche fondamentali che delineano i segnali temporanei all'interno dei cantieri autostradali. La segnaletica temporanea, quale fulcro strategico per la sicurezza e la gestione del traffico durante lavori di costruzione e manutenzione, rappresenta un ambito di studio cruciale per assicurare l'efficacia dell'infrastruttura stradale.

Colori dei Segnali

Un aspetto rilevante riguarda i colori dei segnali temporanei, che giocano un ruolo essenziale nella trasmissione di informazioni chiave ai conducenti. I segnali verticali di

pericolo e indicazione presentano un fondo giallo, questa scelta cromatica è intrinsecamente legata al concetto di attenzione e cautela, richiamando l'occhio dell'utente della strada verso potenziali situazioni pericolose o indicazioni cruciali. Di particolare rilevanza è l'eccezione rappresentata dai segnali compositi impiegati nei presegnali di cantiere mobile, dove il fondo giallo viene sacrificato per favorire un maggiore risalto delle luci gialle. La sinergia tra il colore giallo e le luci gialle crea un'elevata visibilità, aumentando l'efficacia del segnale.

Dimensioni dei Segnali

L'omogeneità dimensionale tra i segnali temporanei e quelli permanenti costituisce un pilastro cruciale per garantire una percezione uniforme e rapida da parte dei conducenti. Questa coerenza visiva è fondamentale per consentire agli utenti della strada di comprendere immediatamente le informazioni fornite dal segnale. Tuttavia, è da sottolineare che il *Regolamento di esecuzione e attuazione del codice della strada* [6] stabilisce specifiche dimensioni per i segnali temporanei, enfatizzando la loro identità contestuale. Questo approccio bilanciato risponde all'esigenza di adattarsi alle mutevoli circostanze del cantiere senza sacrificare l'intuitività e la riconoscibilità.

Visibilità e Rifrangenza

La visibilità costituisce un requisito imperativo per i segnali temporanei, sia di giorno che di notte. A tal fine, l'impiego di materiali rifrangenti riveste un ruolo cruciale. Questi materiali, che caratterizzano numerosi segnali, riflettono la luce dei fari dei veicoli, garantendo una visibilità ottimale anche in condizioni di scarsa illuminazione. L'adozione di pellicole retroriflettenti è particolarmente evidente nei segnali verticali aventi una faccia utile realizzata con questo materiale, rispondendo all'esigenza di massimizzare la rifrangenza e, di conseguenza, l'efficacia comunicativa dei segnali. La Norma UNI EN 1436 [6] stabilisce rigidi parametri di rifrangenza per le diverse categorie di strade, tale approccio mirato conferisce un'ulteriore dimensione di sicurezza al paesaggio stradale temporaneo.

Supporti dei Segnali

La solidità dei supporti e la loro stabilità costituiscono una base imprescindibile per garantire l'integrità e l'efficacia dei segnali temporanei. Questi supporti, in conformità con l'articolo 82 del *Regolamento di esecuzione e attuazione del codice della strada* [5], devono soddisfare criteri rigorosi affinché possano resistere alle variazioni ambientali e assicurare un'apposita base per la segnaletica. L'adozione di materiali non metallici richiede l'approvazione del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, sottolineando l'importanza di una valutazione accurata delle innovazioni nell'ambito della segnaletica stradale. L'introduzione di supporti mobili, mentre permette una flessibilità inestimabile in contesti temporanei, deve essere accompagnata da una stabilità impeccabile, confermando il principio di sicurezza quale priorità primaria.

1.2.2 Limitazione della velocità

Nell'ambito della segnalazione temporanea, va considerato che la limitazione di velocità non è sempre obbligatoria quando i segnali "Lavori" o "Altri pericoli" per loro natura inducono gli utenti a esercitare prudenza e ad adeguare la velocità. Tuttavia, allo scopo di evitare differenze di comportamento tra gli utenti stradali e di promuovere uniformità nella valutazione del pericolo, è consigliabile adottare criteri coerenti nella scelta dei limiti di velocità.

La limitazione di velocità è comunicata agli utenti mediante il segnale di "limite massimo di velocità". Affinchè gli utenti comprendano sempre il motivo della limitazione, è essenziale che il segnale di limite massimo di velocità non sia il primo a essere incontrato dall'utente, ma venga collocato dopo un segnale di pericolo.

L'applicazione della limitazione di velocità dovrebbe avvenire attraverso blocchi (livelli) di 20 km/h ciascuno. Normalmente, il numero massimo di segnali distinti da utilizzare sarà tre. Ad esempio, se si desidera ridurre la velocità di 70 km/h, passando quindi dal massimo consentito di 130 Km/h a 60 Km/h, il terzo livello di riduzione sarà fissato a 30 km/h (110, 90, 60).

È importante rispettare il principio di credibilità dei segnali, evitando l'uso di segnali di limitazione di velocità eccessivamente bassi (5, 10 o 20 km/h) a meno che non siano giustificati da condizioni stradali particolarmente sfavorevoli. Queste limitazioni sono difficilmente valutabili anche da parte dei conducenti attenti, data l'assenza di tachimetri che segnalino tali velocità sui moderni veicoli.

All'interno dell'area del cantiere, il segnale di "limite massimo di velocità" deve essere ripetuto ogni volta che il tratto di strada interessato superi 1,0 km di lunghezza.

La segnaletica di fine prescrizione è obbligatoria e viene realizzata tramite un segnale di "Fine limitazione di velocità" o di "Via libera". Tuttavia, se la prescrizione permanente e quella legata al cantiere riguardano solo la limitazione di velocità, l'utilizzo del segnale di "Fine limitazione" non è necessario. La limitazione di velocità permanente verrà ripristinata attraverso l'uso del segnale di limite massimo di velocità appropriato.

1.2.3 Distanza tra Pannelli e Visibilità

L'efficacia della segnaletica temporanea è strettamente legata alla corretta distanza tra i segnali, che deve essere coerente con la velocità richiesta durante il transito in prossimità e lungo il cantiere. Questa disposizione è essenziale affinché gli utenti possano assimilare adeguatamente le informazioni fornite dai segnali. Tuttavia, è importante considerare che la visibilità dei segnali può variare a causa di fattori come ostacoli naturali o artificiali, ad esempio curve o strutture come pile di ponti. Pertanto, si raccomanda di adottare un posizionamento oculato dei segnali in modo da evitare che un segnale possa nascondere quello successivo.

Un sistema di segnaletica temporanea completo segue un ordine ben definito. Viene anticipato da segnali di avvicinamento collocati prima della zona critica da segnalare. Seguono i segnali di posizione, che sono situati appena prima o lungo la zona interessata. Infine, per completare il sistema, si trovano i segnali di fine prescrizione, posti a valle della zona coinvolta.

1.3 Differenze tra i regolamenti sulla segnaletica Autostradale

Tutte le disposizioni generali fornite dal Codice della strada [4] e dal Regolamento di esecuzione ed attuazione del Codice della strada [5] sono state richiamate ed adattate nel D.M. 10/07/2002 [2] per essere utilizzate nella segnalazione dei cantieri autostradali. Quelle che abbiamo visto fin'ora sono pertanto delle disposizioni necessarie che uniformano la segnaletica non solo all'interno della rete Autostradale Italiana secondo la norma UNI EN 1436 Aprile 2004 [6] ma che si attengono a delle disposizioni Europee riportate all'interno della norma EN 1436 Agosto 1997 [7] redatta per uniformare la segnaletica stradale in tutto il continente.

Tutto ciò che segue poi alla semplice realizzazione e installazione dei segnali viene stabilito dalle singole legislazioni per meglio adattare gli schemi segnaletici in funzione delle diverse

necessità. Per questo motivo capita spesso di trovare diversi schemi segnaletici adottati nei vari stati dell'Unione Europea oppure di trovare delle disposizioni trattate approfonditamente da alcuni regolamenti e completamente assenti in altri. Per questo motivo nel seguente capitolo si vogliono valutare tutte le disposizioni fornite all'interno dei regolamenti Italiani e confrontarle con quelle riportate nei regolamenti dei principali Paesi Europei.

1.3.1 Cantieri in posizione di scarsa visibilità

Il tema della visibilità del cantiere in ambito autostradale rappresenta un primo punto fondamentale sul quale si fonda questo elaborato. Il D.M. 10/07/2002 [2] e il Disciplinare Tecne S.p.A. [3] non approfondiscono sufficientemente il problema della visibilità ma forniscono degli schemi segnaletici rappresentati in rettilineo aggiungendo semplicemente delle disposizioni da utilizzare nei casi in cui il cantiere sia di difficile avvistamento.

All'interno del D.M. 10/07/2002 [2] al capitolo 5 - Posizionamento dei segnali troviamo la prima indicazione inerente le situazioni in cui il cantiere si trova in una posizione definita "complessa" in termini di visibilità e che per ragioni di sicurezza richiede delle disposizioni aggiuntive:

"Nei casi in cui la visibilità della segnaletica di avvicinamento risulti difficoltosa, specialmente in cantieri rilevanti o con posizioni complesse, è possibile introdurre uno o due segnali di lampeggiamento giallo di ampio diametro (almeno 30 cm) prima dei segnali di avvicinamento. La distanza da calcolare tra questi segnali e il primo segnale di avvicinamento dovrebbe essere modulata in base alla possibile formazione di code, considerando le dimensioni prevedibili delle code stesse. Si suggeriscono le seguenti distanze minime di installazione per questi dispositivi:

- 250 metri prima del segnale "lavori" nelle strade a doppio senso di circolazione e nelle strade urbane di grande traffico;
- 750 metri prima del segnale "lavori" nelle strade di tipo A e B con due corsie per senso di marcia;
- 1000 metri prima del segnale "lavori" nelle strade di tipo A e B con tre o più corsie per senso di marcia.

In presenza di queste lanterne, è necessario posizionare un segnale "lavori" con un pannello integrativo che indichi la distanza dal cantiere. In tali situazioni, non è obbligatorio avere la lanterna a luce rossa fissa in abbinamento. L'inizio della segnaletica di posizione coincide con l'inizio della zona in cui si manifesta il pericolo o, in assenza di tale zona, con l'inizio della barriera frontale."

Differenza n.1

Il D.M. 10/07/2002 [2] prevede che, per aumentare il comparto segnaletico nei casi in cui il cantiere sia di difficile avvistamento, vengano posizionati a monte del segnale di preavviso uno o due segnali di lampeggiamento giallo di ampio diametro ad una distanza di 750m (per carreggiata a due corsie) o 1Km (per carreggiata a tre corsie). A questi viene accompagnato un segnale di lavori con pannello integrativo che ne indica la distanza dal cantiere. Analizzando però il Disciplinare Tecne S.p.A. [3] si nota come tale disposizione non sia espressamente riportata, tuttavia l'ultima versione di tale regolamento, rilasciata nel 2023, riporta all'interno il testo completo del D.M. 10/07/2002 [2] ad eccezione degli schemi segnaletici. Questa disposizione si adatta più facilmente ai cantieri fissi, per i quali è sufficiente installare le lampade gialle a monte del cantiere accompagnate dal segnale di lavori in corso e relativo pannello integrativo. Per i cantieri mobili, a seconda del tipo di lavorazione, possono essere previsti molteplici spostamenti nel corso della giornata lavorativa. Pertanto posizionare dei segnali a un chilometro di distanza dal normale comparto segnaletico richiederebbe un operatore aggiuntivo incaricato esclusivamente di spostare la segnaletica aggiuntiva, con il rischio che questo possa essere esposto al traffico senza sufficienti protezioni. Questa particolare situazione viene affrontata in maniera più approfondita all'interno del presente documento al capitolo 2 dedicato proprio alla visibilità dei cantieri in ambito Autostradale. Tuttavia, in questo paragrafo si vuole valutare l'efficacia di questa disposizione ma soprattutto anche l'effettiva funzionalità.

1.3.2 Cantieri Fissi

Si riportano le prescrizioni previste dal Decreto Ministeriale 10/07/2002 [2]:

"Un cantiere è detto fisso se non subisce alcuno spostamento durante almeno una mezza giornata. Il segnalamento comporta una segnaletica in avvicinamento, una segnaletica di posizione, una segnaletica di fine prescrizione.

- *Segnaletica in avvicinamento Si compone di:*
 - *un segnale "lavori" o "altri pericoli" con eventuale pannello integrativo;*
 - *segnali di "riduzione corsie" con pannello integrativo di distanza;*
 - *segnali di "divieto di sorpasso" e "limite massimo di velocità";*
 - *altri segnali di pericolo o di prescrizione ritenuti necessari;*
 - *eventuali segnali di preavviso e direzione in caso di deviazione.*

Nel caso di strade a carreggiate separate la stessa segnaletica deve essere, in genere, ripetuta sullo spartitraffico. La messa in opera della segnaletica sullo spartitraffico comporta che uno o più operatori attraversino la carreggiata. In certi casi il rischio che devono correre questi ultimi può indurre a rinunciare alla ripetizione sullo spartitraffico.

- *Segnaletica di posizione:*
 - *Uno o più raccordi obliqui realizzati con barriere, coni, delineatori flessibili o paletti di delimitazione integrati da segnali di obbligo o delineatori di curva provvisoria;*
 - *Una delimitazione longitudinale costituita normalmente da coni o delineatori flessibili opportunamente spazati tra loro;*

– *Eventuali ulteriori segnali di pericolo e prescrizione ripetuti nel caso di cantieri molto estesi (ogni volta che il tratto di strada interessato è più lungo di 1,0 Km).*

- *Segnaletica di fine prescrizione: La fine delle prescrizioni è segnalata con uno o più segnali di "fine prescrizione" ovvero con gli appropriati segnali relativi alle prescrizioni valide sulla strada a valle del cantiere.*

A questi tre gruppi di segnali devono essere poi aggiunti anche i segnali luminosi prima esposti e quelli orizzontali temporanei nei casi di cantieri di durata maggiore di sette giorni."

1.3.3 Le testate di chiusura della corsia

La segnaletica stradale riveste un ruolo di fondamentale importanza nella regolamentazione e nell'organizzazione del traffico veicolare, contribuendo in modo significativo alla sicurezza stradale e all'efficienza delle infrastrutture stradali. I due documenti chiave che disciplinano l'uso della segnaletica stradale in Italia, il D.M. 10/07/2002 [2] e il Disciplinare tecnico redatto da Tecne S.p.A. [3], affrontano in modo diverso la rappresentazione grafica delle testate di chiusura della corsia nel caso di cantiere fisso.

Questa disamina delle differenze nella rappresentazione interessa particolarmente gli operai incaricati dell'installazione e gestione del cantiere. Pertanto riveste un ruolo fondamentale per evitare fraintendimenti o l'impiego di diverse metodologie di installazione per un cantiere che presenta le medesime caratteristiche. Ricordando che la rete nazionale delle Autostrade viene gestita da più aziende sarebbe importante evitare difformità di segnalamento nei diversi regolamenti. È pertanto utile chiarire questo aspetto e uniformare la rappresentazione grafica per renderla valida in tutto il territorio nazionale.

Differenza n.2 - La rappresentazione della testata di chiusura della corsia

Il D.M. 10/07/2002 [2] prima di entrare nel dettaglio della tipologia di cantiere che deve essere allestito, fornisce delle tavole introduttive all'interno delle quali vengono rappresentate con una maggiore risoluzione le testate di chiusura di una corsia autostradale. Viene fatta una chiara distinzione in funzione della durata dei lavori dividendo tutte le variazioni nelle Figure 1.21, 1.22, 1.23. Ovviamente nelle tavole successive poi, il D.M. 10/07/2002 [2] fornisce una panoramica completa di tutti i segnali che compongono lo schema segnaletico, accorpati in un'unica tavola. Viene riportata poi una legenda che differenzia i segnali in funzione della durata del cantiere, così come fatto nel regolamento Tecne S.p.A. [3] nella tavola F2 (Fig. 1.24). Come si può notare dalla quotatura relativa alla testata di chiusura nella tavola F2, è presente un'unica quota di 108m senza alcuna divisione tra un segnale/cono e l'altro. Inoltre, se all'interno del D.M. 10/07/2002 sono previsti due coni interposti ai segnali di obbligo, nella tavola F2 ne viene rappresentato uno solo. È chiaro che per sintesi di rappresentazione sia utile riassumere tutto in un'unica tavola ma sarebbe opportuno inserire dei particolari, così come fatto dal D.M. 10/07/2002 [2], della singola testata con le quotature di dettaglio.

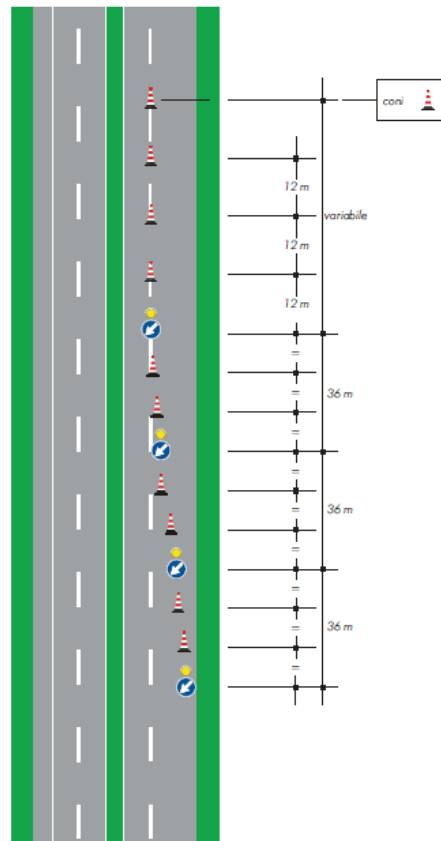


Figura 1.21: D.M. - Cantiere fisso - durata inferiore a 2 giorni

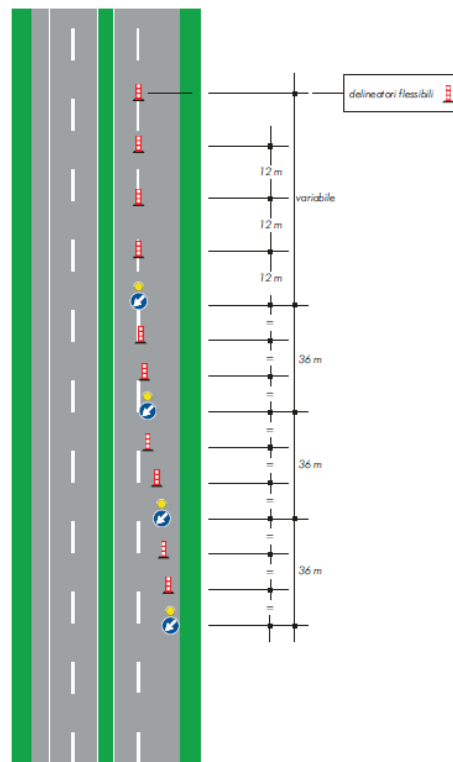


Figura 1.22: D.M. - Cantiere fisso - durata compresa tra 3 e 7 giorni

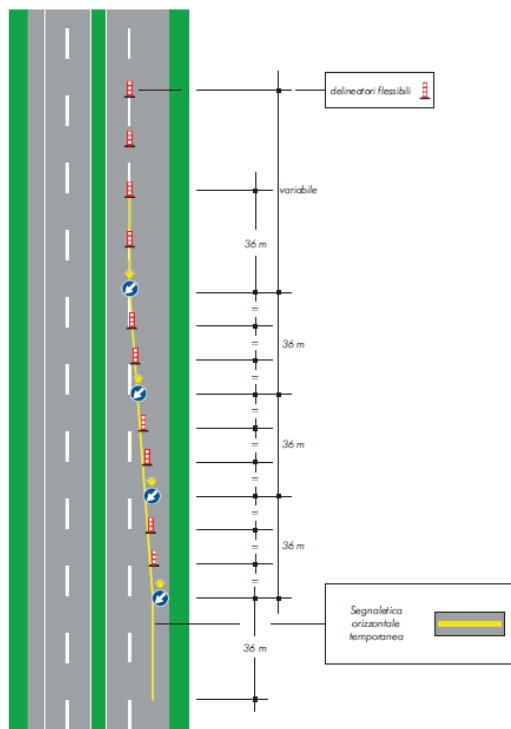


Figura 1.23: D.M. - Cantiere fisso - durata superiore a 7 giorni

F.2

CHIUSURA DELLA CORSIA DI MARCIA

Schema

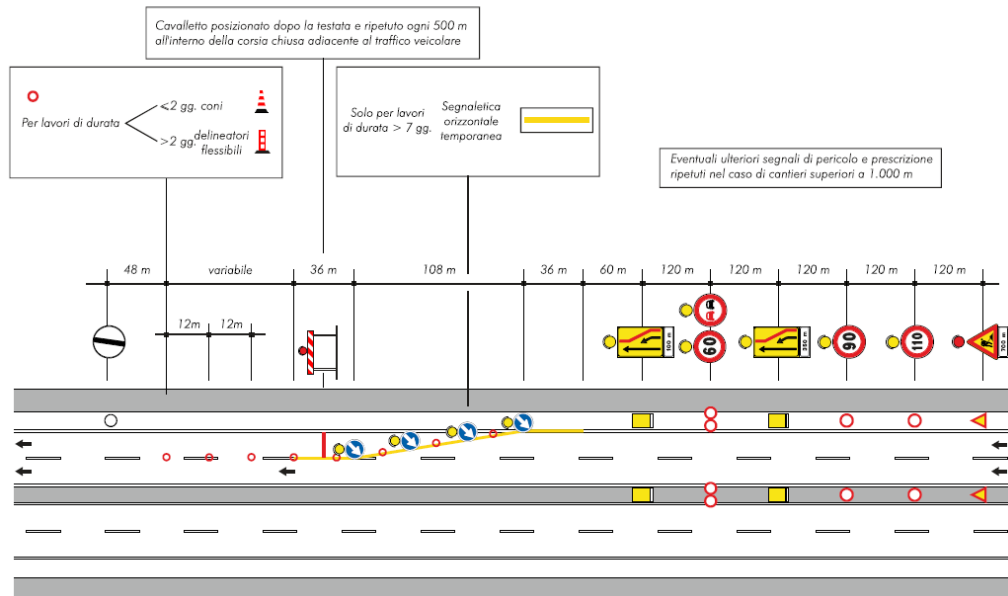


Figura 1.24: Tecne - Unica tavola per qualsiasi durata

1.3.4 Gestione della segnaletica orizzontale per lo smaltimento del traffico

L'efficacia della segnaletica stradale è cruciale per garantire la sicurezza delle strade e l'ordine del traffico. In particolare, quando si tratta di gestire il flusso del traffico in situazioni complesse, come lo smaltimento delle code, è essenziale che le informazioni fornite attraverso gli schemi segnaletici siano chiare, coerenti e facilmente comprensibili per tutti gli automobilisti.

Tuttavia, talvolta ci troviamo di fronte a situazioni in cui le tavole segnaletiche rappresentano la modifica della circolazione di una corsia in particolare, mantenendo però la segnaletica orizzontale relativa al cantiere nelle condizioni di circolazione ordinaria. Questo approccio spesso si scontra con i principi fondamentali di coerenza della segnaletica stradale, creando potenzialmente confusione tra i conducenti e mettendo a rischio la sicurezza stradale. In questo contesto, è cruciale esaminare criticamente la realizzazione di questi schemi segnaletici al fine di garantire una guida sicura e priva di ambiguità per tutti gli utenti della strada.

Differenza n.3 - Cancellazione della segnaletica contraddittoria nelle testate

Relativamente ai cantieri fissi ci sono casi in cui vi è la necessità, per una migliore gestione del traffico, di permettere ai conducenti di scegliere se proseguire sulla stessa carreggiata (con la limitazione a una sola corsia a causa del cantiere) oppure se seguire la sinistra e immettersi nell'altra. Lo schema riportato nella figura 1.25 viene adottato nelle situazioni in cui per ragioni di congestione del traffico è necessario far defluire i veicoli che viaggiano in una delle due direzioni. In questa particolare situazione non si è potuto non notare un'impresione in uno schema che necessita di un chiarimento ulteriore. Si riporta di seguito infatti uno zoom sulla tavola F6.a che presenta una segnaletica orizzontale che potrebbe confondere i conducenti. È stata evidenziata in rosso la linea gialla interessata che nelle situazioni di normale flusso veicolare viene impiegata per chiudere completamente la carreggiata ma nel caso in esame diventa superflua e incoerente con il resto della segnaletica. La stessa situazione è stata proposta per lo smaltimento del traffico nella carreggiata opposta a quella interessata da lavori e si riporta di seguito la tavola F6.b.(Fig. 1.26). Un conducente che viaggia su una delle due situazioni proposte potrebbe essere confuso dalla segnaletica orizzontale che vale per le giornate ordinarie di lavoro ma non per le circostanze richieste dallo smaltimento di una coda in una giornata particolarmente trafficata. Nel caso particolare della tavola F6b sarebbe opportuno aggiungere anche un segnale "direzioni consentite" al di sopra dei New Jersey in corrispondenza del cambio carreggiata. A questo si aggiunge il fatto che come prevede il D.M. 10/07/2002 [2], che comunque non entra nel dettaglio per la soluzione del problema dello smaltimento del traffico, prescrive che se per qualche ragione si debba modificare la segnaletica orizzontale, questa venga temporaneamente coperta per evitare contraddizioni. Tale indicazione viene spesso riproposta all'interno di varie tavole con delle linee nere a copertura della segnaletica originale del tratto stradale. Si riporta allora una tavola nella quale viene evidenziata questa prescrizione sulla segnaletica orizzontale nel D.M. 10/07/2002 [2] (Fig. 1.27). Per questo motivo si è pensato di modificare le tavole F6a ed F6b proponendo una soluzione più chiara ed esplicativa (Fig.e 1.28 e 1.29)

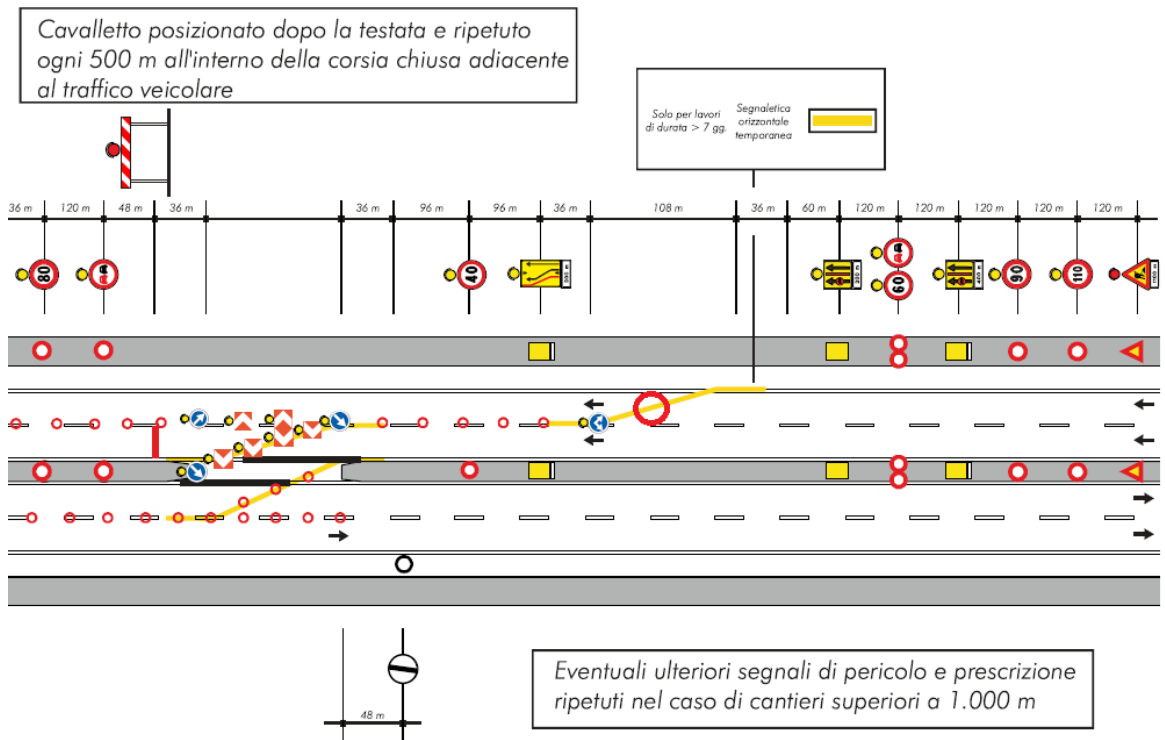


Figura 1.25: Tecne Tavola F6a- Separazione del traffico

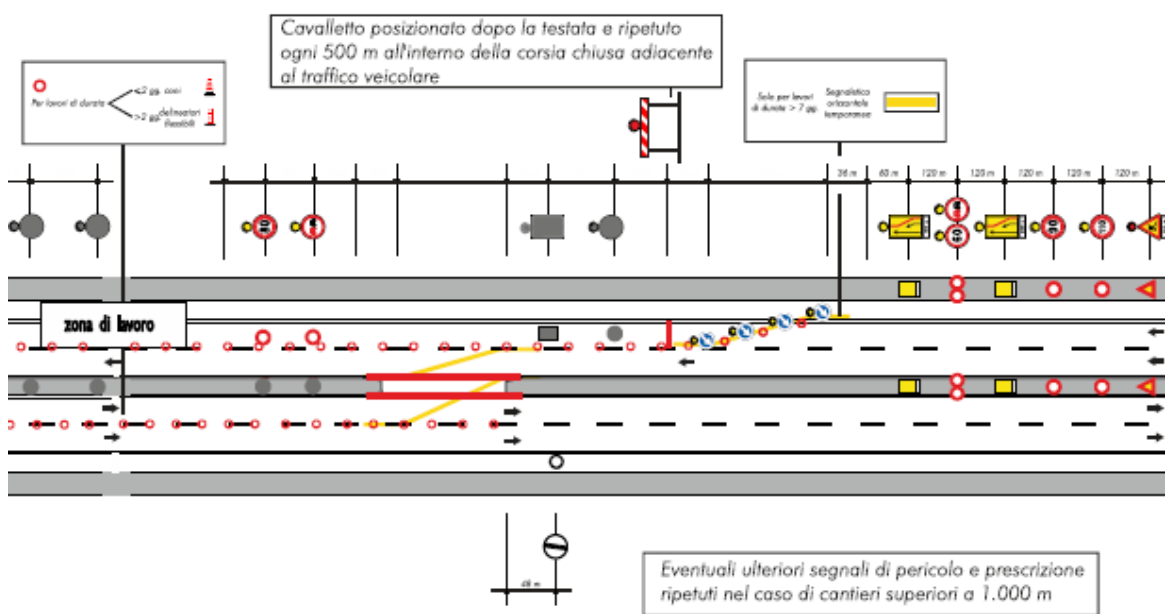


Figura 1.26: Tecne Tavola F6b- Separazione del traffico

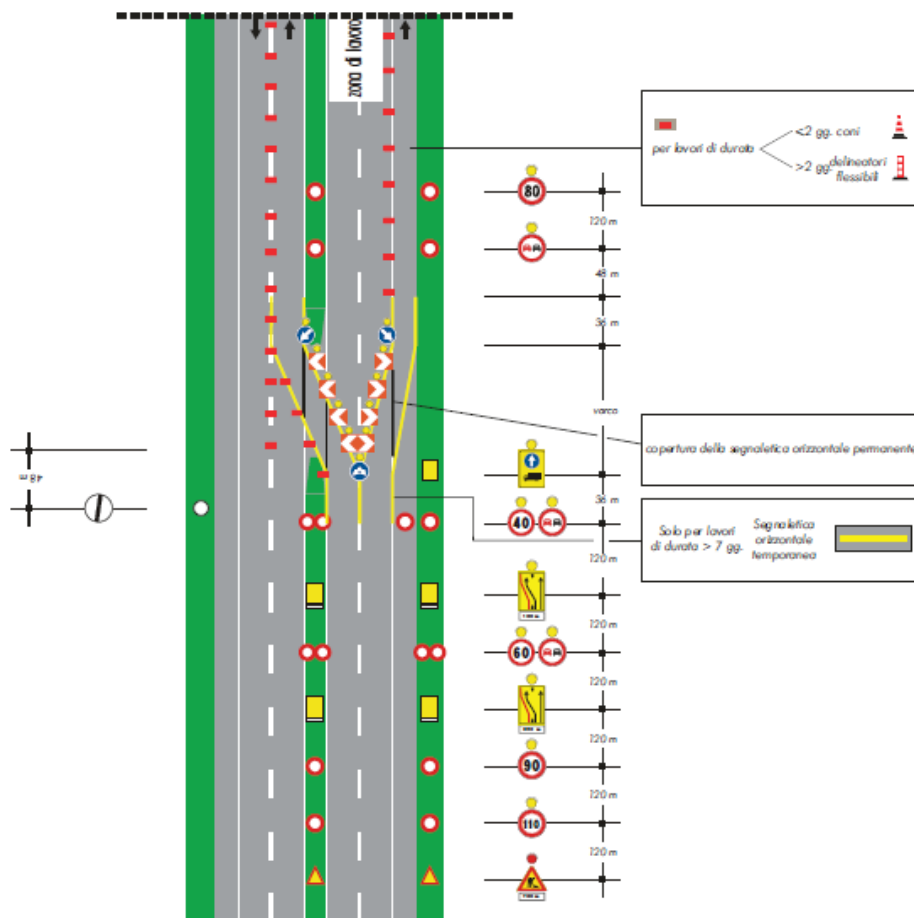


Figura 1.27: Tecne Tavola 28b- Copertura della segnaletica orizzontale

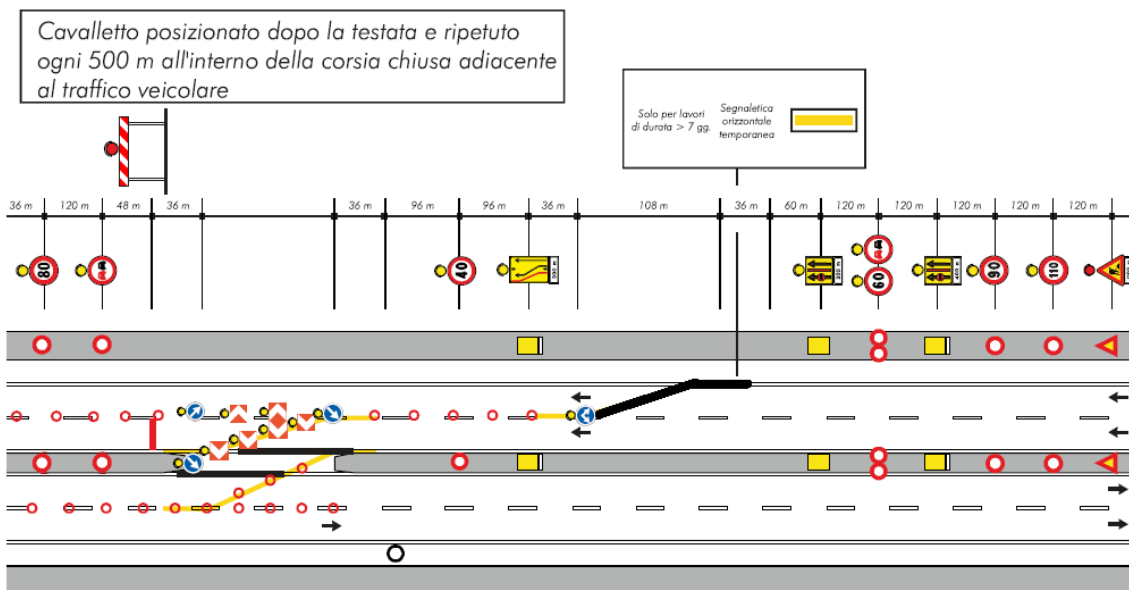


Figura 1.28: Tecne Tavola F6a MODIFICATA- Copertura della segnaletica orizzontale

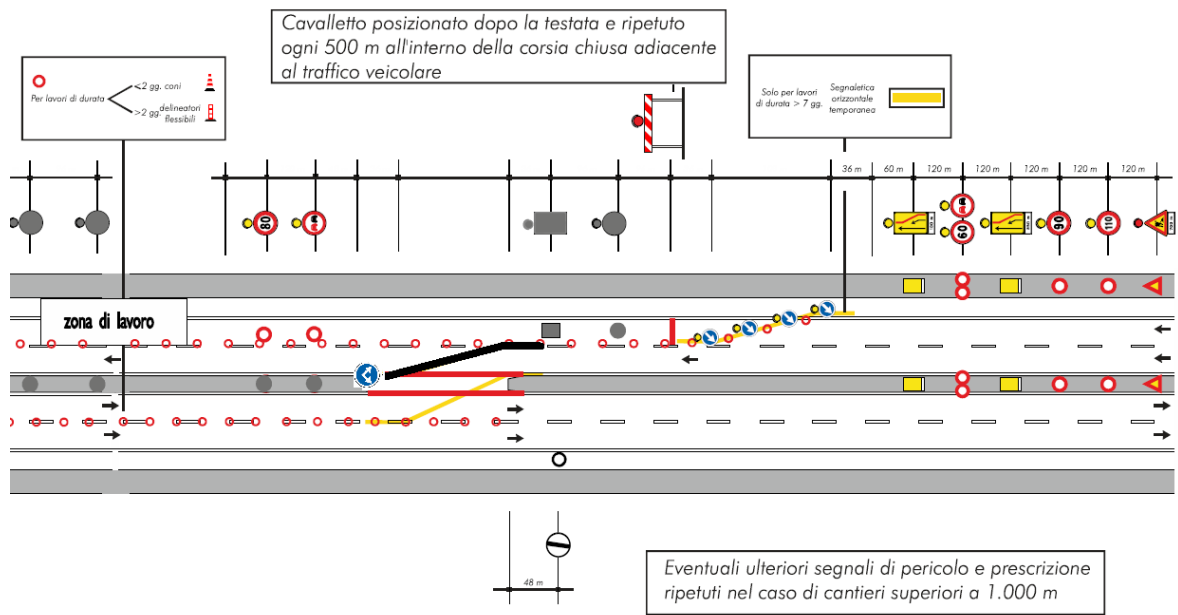


Figura 1.29: Tecne Tavola F6b MODIFICATA - Copertura della segnaletica orizzontale

1.3.5 La corsia di emergenza

La corsia di emergenza è necessaria nella rete autostradale poichè permette una più adeguata gestione delle avarie dei veicoli ma anche una qualsiasi emergenza che interessa il conducente del veicolo e che per qualche ragione deve fermarsi per risolverla. Seppur nella rete si riscontra la presenza di tale corsia nella maggior parte delle strade, ciò non viene sempre garantito sia per dimensioni della carreggiata che per impraticabilità della corsia. Si ritiene interessante pertanto un'analisi più accurata della problematica poichè si tratta di una corsia che oltre a consentire l'arresto dei veicoli in avaria, viene spesso utilizzata per il posizionamento della cartellonistica per la gestione dei cantieri fissi ma anche mobili. Inoltre, viene spesso impiegata per una migliore gestione del traffico laddove risulti necessario come mostrato nella figura 1.27.

Differenza n.4 - Gestione della segnaletica in assenza della corsia di emergenza

Nei casi in cui, per ragioni di impraticabilità o per dimensioni della carreggiata, non è presente la corsia di emergenza, risulta difficile una corretta gestione della segnaletica per quanto riguarda l'allestimento del cantiere. Spesso infatti, nei casi di chiusura della corsia di marcia, la segnaletica verticale viene posta proprio sulla corsia di emergenza, quando questa però non è presente è necessario trovare delle soluzioni alternative. Il Decreto Ministeriale 10/07/2002 [2] (Fig. 1.30) prevede la posizione della segnaletica verticale al di fuori della carreggiata, alla destra quindi del guardrail. Questa soluzione, com'è facile immaginare, non si adatta facilmente in tutte le circostanze. Nei casi di carreggiate rialzate rispetto al suolo (come ad esempio i ponti) o con vegetazione fitta, che rende pertanto di difficile visibilità e/o installazione la segnaletica, non è possibile adottare le soluzioni proposte. Come si evidenzia dalla tavola 22 nella figura 1.30, il D.M. 10/07/2002 [2] riporta la presenza del mezzo impiegato nei cantieri mobili, posizionandolo nell'area adibita alla sosta dei veicoli in situazioni di emergenza che non è detto sia sempre presente nei pressi del cantiere che deve essere realizzato. Il regolamento Tecne [3] invece, non entra nel dettaglio di questa particolare problematica e non fornisce soluzioni dettagliate per affrontare queste situazioni. È evidente pertanto che siano necessari ulteriori chiarimenti dalla Normativa Italiana per meglio adattare i cantieri in tutte le situazioni possibili.

Una possibile soluzione potrebbe essere quella di adattare la segnaletica, mediante l'utilizzo di appositi supporti, al di sopra dei guardrail che delimitano esternamente la carreggiata. Così come avviene per la ripetizione dei segnali sul margine sinistro, al di sopra dei New Jersey, potrebbe essere fatto in queste situazioni. Valgono ovviamente tutte le indicazioni fornite dal Regolamento di esecuzione ed attuazione del Codice della Strada [5], inerenti le caratteristiche dei supporti della segnaletica in modo tale da renderla ben salda al guardrail ma soprattutto visibile ai conducenti che percorrono la strada.

Una soluzione concreta a questo problema è stata proposta al paragrafo 2.1.1 nel quale è stata analizzata la possibilità di impiegare pannelli a messaggio variabile trainabili. Si tratta di una soluzione molto comoda e innovativa poichè consente di richiamare l'attenzione dei conducenti nelle immediate vicinanze del cantiere. Inoltre, nel mercato odierno sono disponibili più soluzioni valide in termini di dimensioni per adattarli a tutte le possibilità. Nel caso in esame ad esempio la soluzione più adatta sarebbe quella della figura 2.5.

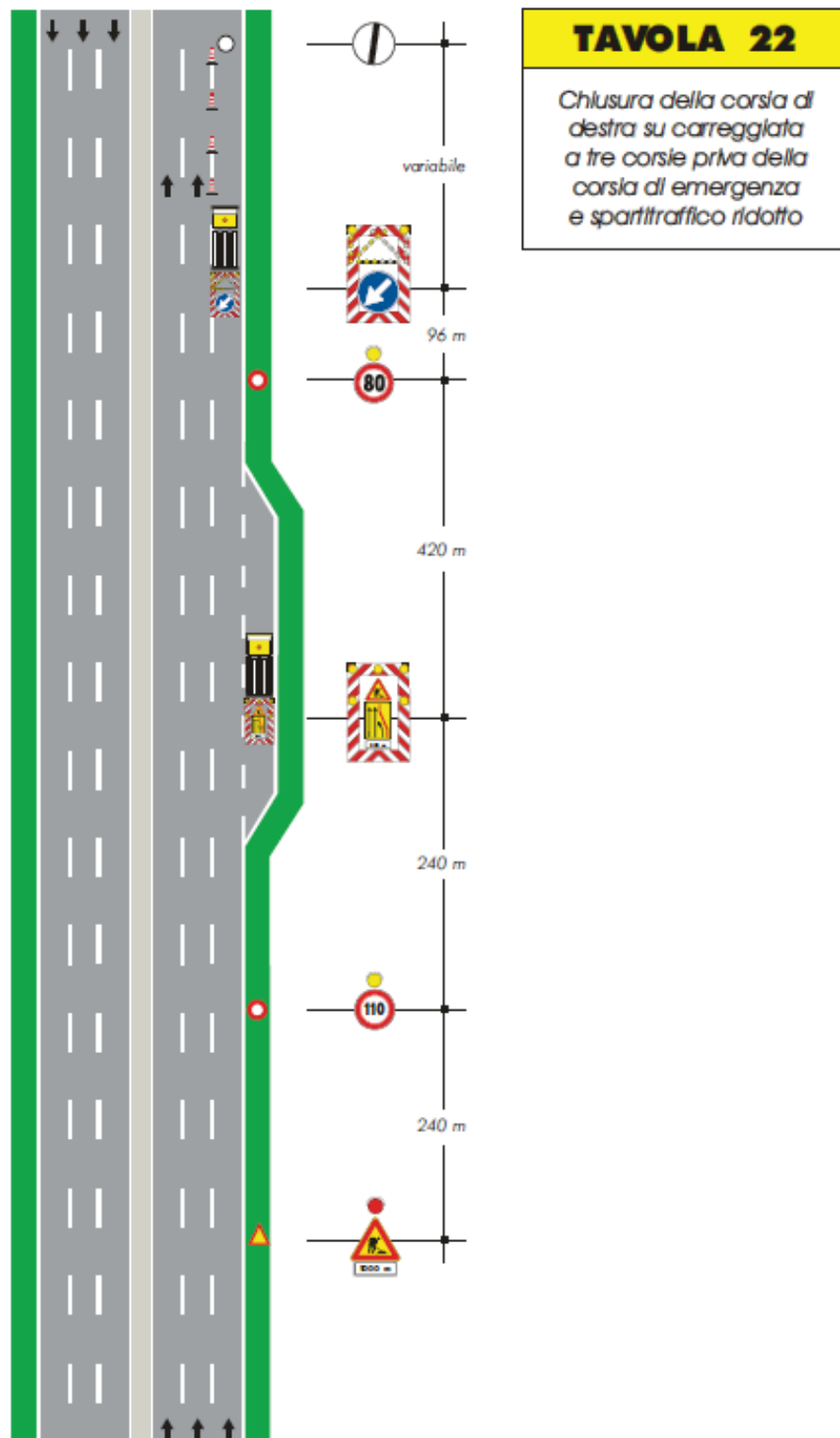


Figura 1.30: D.M. - Assenza della corsia di emergenza

Differenza n.5 - La chiusura della corsia di emergenza

Un'ulteriore differenza tra i due regolamenti è stata notata nel caso di cantiere fisso con chiusura della corsia di emergenza. Il regolamento Tecne [3], prevede segnaletica aggiuntiva rispetto al D.M. 10/07/2002 [2] con la presenza di due segnali di obbligo e maggior numero di coni interposti tra questi (Fig. 1.31). Non si tratta di un errore o un'assenza di prescrizioni ma bensì di un'integrazione della segnaletica. È doveroso ricordare che ogni integrazione segnaletica, come richiesto dai principi generali, necessita di opportune valutazioni. È necessario evitare che si ecceda nel numero di segnali per evitare di perdere credibilità. Si ritiene però che non sia questo il caso e che anzi, tale modifica non fa altro che migliorare la visibilità della prescrizione ed evitare che un conducente distratto si immetta nella corsia di emergenza laddove è vietato. Come riportato nella figura 1.32 l'indicazione fornita dal D.M. 10/07/2002 [2] è quella di un solo cartello di obbligo e successivamente un cavalletto a chiusura della corsia che deve essere ripetuto ogni 500m lungo l'estensione del cantiere. La presenza del cavalletto di chiusura però non è riportata nel Disciplinare Tecne [3] ma si ritiene che le disposizioni fornite da quest'ultimo siano sufficienti ad evitare fraintendimenti poichè analoghe a quelle previste per una normale testata della chiusura della corsia di marcia/sorpasso.

F.1

CHIUSURA DELLA CORSIA DI EMERGENZA

Schema

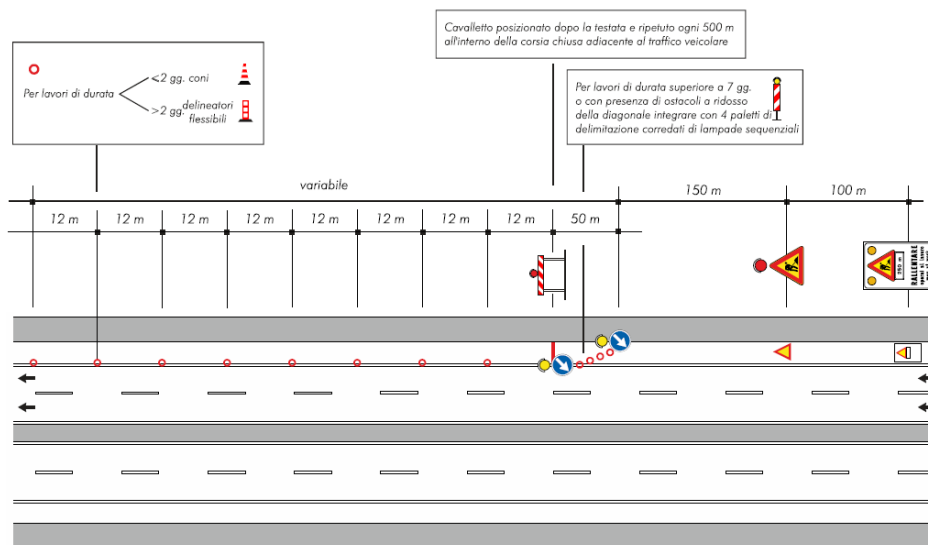


Figura 1.31: Tecne Tavola F1- Chiusura della corsia di emergenza

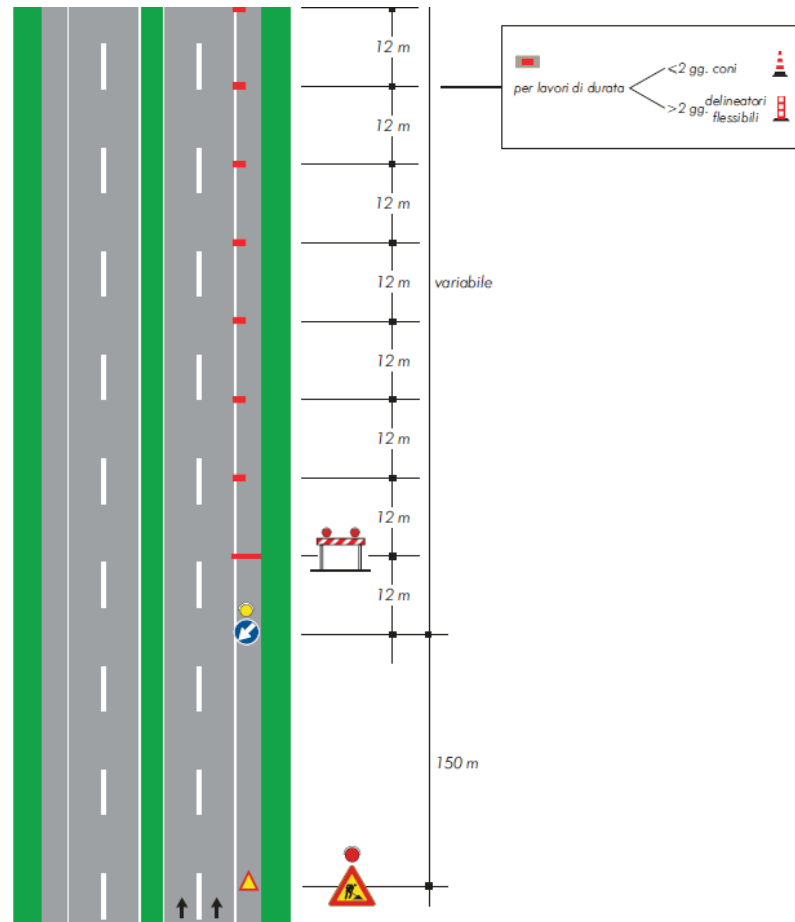


Figura 1.32: D.M. 10/07/2002 [2] - Chiusura della corsia di emergenza

1.3.6 Cantieri Mobili

I cantieri mobili sono cantieri che riguardano la manutenzione della rete autostradale che può riguardare sia banalmente la riparazione del manto stradale ma anche ad esempio il taglio delle siepi che si trovano ai margini della corsia. Si riporta la definizione fornita dal D.M. 10/07/2002 [2]:

“Un cantiere mobile è caratterizzato da una progressione continua ad una velocità che può variare da poche centinaia di metri al giorno a qualche chilometro all’ora. Per la segnaletica dei cantieri mobili, allo stato attuale delle tecniche di segnalamento, è previsto l’impiego di più veicoli appositamente attrezzati. Di norma il cantiere mobile può essere usato solo su strade con almeno due corsie per senso di marcia. L’impiego in galleria è consentito solo se in quest’ultima vi sono almeno due corsie per senso di marcia ed una adeguata illuminazione. Sarà inoltre opportuno che il cantiere sia operativo in condizioni di scarso traffico.”

A tal proposito si riporta anche la differenziazione effettuata dalla normativa italiana che come vedremo, per ragioni pratiche, è stata modificata dal Disciplinare Tecne [3]. Il Decreto Ministeriale 10/07/2002 [2] infatti prevede una semplice distinzione tra cantiere sulla corsia di marcia e quella di sorpasso e prescrive:

- “Nel caso di cantiere che riguarda la banchina, la corsia di emergenza o la corsia di destra il sistema segnaletico si riduce ad un minimo di due dispositivi costituiti da:

- Segnale mobile di preavviso o presegnale di cantiere mobile disposto in banchina o sulla corsia di emergenza;
- Segnale mobile di protezione disposto sulla banchina, corsia di emergenza o corsia di marcia secondo il tipo di lavoro da eseguire ad una distanza variabile tra i 200 e i 500 metri dal segnale mobile di preavviso a secondo del tipo di strada. (per autostrade è prevista la distanza di 500m)

I due segnali si spostano in maniera coordinata all'avanzamento dei lavori in modo che entrambi siano comunque separatamente visibili da almeno 300 metri. In caso non sia possibile garantire tali distanze di avvistamento occorrerà impiegare un ulteriore segnale mobile di preavviso in posizione intermedia. Tale prescrizione verrà approfondita nel capitolo successivo per quanto riguarda la visibilità dei segnali. La segnaletica di localizzazione comprende di norma anche la delimitazione della zona di lavoro con coni o paletti di delimitazione.

- Nel caso di cantiere che riguarda una delle altre corsie il sistema segnaletico è composto da:
 - due segnali mobili di preavviso o presegnali di cantiere mobile disposti in banchina o sulla corsia di emergenza e/o sulla corsia di destra;
 - segnale mobile di protezione disposto sulla corsia di marcia interessata ad una distanza variabile tra i 200 e i 500 metri dal secondo segnale mobile di preavviso.

Il movimento e l'avvistamento dei segnali è lo stesso del caso precedente così come la delimitazione della zona di lavoro."

Differenza n.6 - Distinzione tra tipologie di cantiere mobile

Nel caso dei cantieri mobili, il regolamento Tecne - ASPI [3] propone, per ragioni pratiche e di migliore gestione dei tempi di lavoro, una diversa distinzione tra le tipologie di cantiere. Questo può portare in alcuni casi a delle incongruenze tra i due regolamenti a causa del fatto che il Decreto Ministeriale fornisce una sola soluzione in funzione della corsia interessata dal cantiere che a volte si adatta male alla velocità di avanzamento dello stesso.

Per spiegare meglio tale problematica si riporta innanzi tutto tale distinzione citando le prescrizioni del regolamento Tecne:

"La principale caratteristica distintiva tra gli schemi di cantiere mobile denominati come "lento movimento" e "avanzamento" risiede nella modalità esecutiva dei lavori, e, nell'ambito di questa, nella possibilità o meno che sia impiegato personale a terra. La scelta dello schema, con riferimento a quelli prodotti in allegato al presente documento, dovrà essere quindi preliminarmente operata in funzione delle seguenti specifiche.

Cantieri in "lento movimento":

- *si utilizzano di norma per lavorazioni in continuo (non puntuali), con velocità di avanzamento sostanzialmente omogenea;*
- *non prevedono, se non in forma occasionale o estemporanea, presenza di personale a terra;*
- *qualora la presenza, occasionale o estemporanea, di personale a terra sia prevista o prevedibile, tutti i mezzi utilizzati devono essere dotati, lungo il lato esposto al traffico, del set di lampade a luce fissa, funzionanti ed attivate sia in orario diurno che notturno.*

Cantieri in "avanzamento":

- *si utilizzano di norma per lavorazioni discontinue e/o eseguite con presenza di personale a terra;*
- *richiedono un delineamento del lato esposto al traffico per l'intera estensione dell'area di lavoro;*
- *tale delineamento è realizzato con coni in gomma, disposti lungo il limite interno della corsia occupata;*
- *per le sole lavorazioni interessanti il margine destro della carreggiata, siano esse eseguite con la chiusura della corsia di emergenza o della prima corsia di marcia in destra nel caso di emergenza ridotta, è ammessa l'adozione di schemi che prevedono il delineamento dell'area di lavoro tramite i set di lampade, funzionanti ed attivate sia in orario diurno che notturno, già previsti per i cantieri in "lento movimento" con presenza occasionale di personale a terra. In tali casi, come meglio evidenziato negli schemi allegati, l'area di lavoro deve sempre risultare compresa tra il segnale di protezione e il veicolo operativo successivo."*

Differenza n.7 - Cantiere "in avanzamento"

Una prima incongruenza su cui vale la pena soffermarsi non è una vera e propria differenza tra i due regolamenti ma bensì un piccolo errore di definizione nei primi due schemi inerenti i cantieri mobili all'interno del regolamento Tecne [3]. Si riportano di seguito infatti gli schemi M1 (Fig. 1.33) ed M2 (Fig. 1.34) che rappresentano il pacchetto segnaletico sulla corsia di emergenza per cantieri "fermi o in avanzamento" per lo schema M1 e "in avanzamento" per lo schema M2. È evidente che una tale differenziazione tra i due può suscitare dei dubbi negli operatori che devono allestire un cantiere che ricade in tale casistica e si ritiene necessario chiarire tale aspetto nei regolamenti futuri. Il cantiere in avanzamento infatti viene menzionato in entrambi gli schemi e non è chiaro a quale dei due si debba fare riferimento. Per quanto riguarda la distinzione fornita dal D.M. 10/07/2002 [2] lo schema a cui fare riferimento nel caso di lavori nella corsia di emergenza è quello riportato nella figura 1.33, il Disciplinare Tecne [3] presumibilmente infatti ha disposto l'utilizzo dello stesso nel caso di cantiere che subisce delle interruzioni durante la giornata lavorativa e pertanto vale la pena il posizionamento dei coni durante la manutenzione puntuale. La presenza nel titolo di cantiere in avanzamento si presume sia un errore di stampa e che il vero schema da adottare per un cantiere in avanzamento sia invece l'M2 (Fig. 1.34)

M.1

VEICOLI OPERATIVI FERMI O IN AVANZAMENTO SULLA CORSIA DI EMERGENZA

Schema

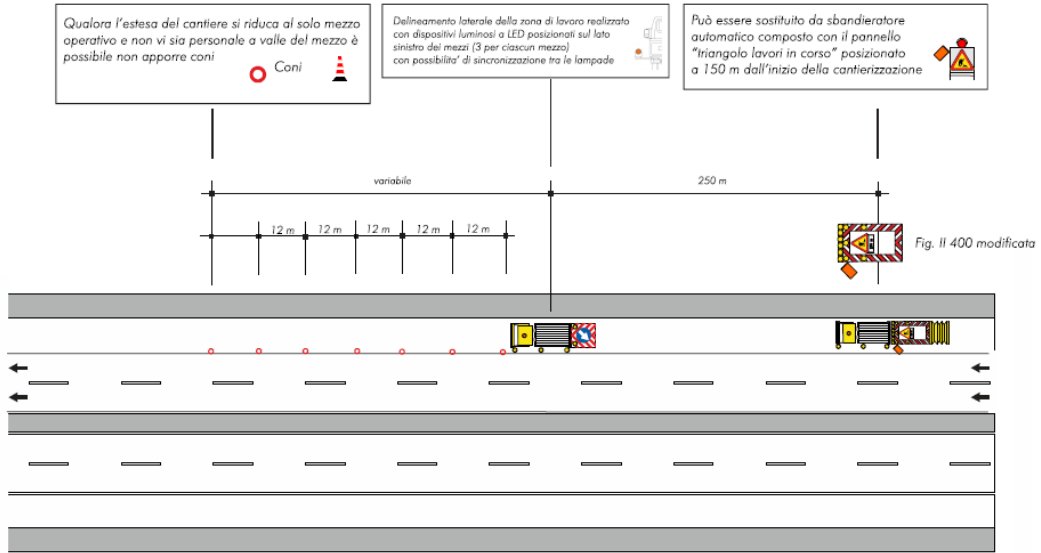


Figura 1.33: Tecne Tavola M1- Cantieri fermi o in avanzamento

M.2

VEICOLI OPERATIVI IN AVANZAMENTO SULLA CORSIA DI EMERGENZA

Schema

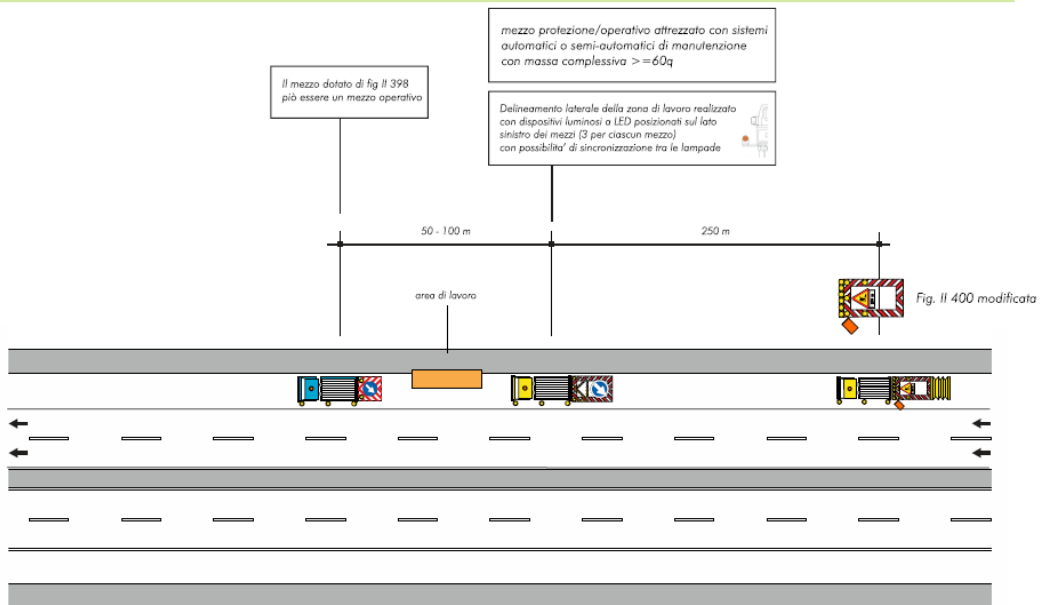


Figura 1.34: Tecne Tavola M2- Cantieri in avanzamento

Differenza n.8 - Impiego dei coni a delimitazione dell'area di lavoro

Vale la pena concentrare l'attenzione ulteriormente sullo schema M2 (Fig. 1.33) poiché rappresenta proprio la prima incongruenza tra regolamento Tecne [3] e D.M. 10/07/2002 [2] dovuta a una diversa denominazione dei cantieri mobili. Mentre il D.M. 10/07/2002 [2] infatti prevede che per lavori sulla corsia di emergenza l'area di lavoro sia delimitata da coni o paletti, il Disciplinare Tecne [3] per cantieri che prevedono un avanzamento veloce durante la giornata lavorativa rimuove tale prescrizione proteggendo l'area di lavoro con due mezzi uno che precede e l'altro che segue l'area interessata. Questo a protezione maggiore dei lavoratori che in questa particolare casistica possono lavorare a terra con maggiore protezione. Allo stesso tempo però non sono previsti a protezione dell'area di lavoro i coni o paletti come richiesto dal D.M. 10/07/2002 [2]. La presenza di coni in tutti gli schemi del disciplinare Tecne [3] è prevista solo per i cantieri in avanzamento che spesso sono discontinui con l'arresto dei mezzi nelle zone interessate dalle lavorazioni. Per i cantieri che invece vedono un movimento continuo tale prescrizione è stata rimossa. Dalla Fig. 1.33 si evince che in questa circostanza la distanza tra i mezzi impiegati a protezione dei lavoratori a terra e quindi del cantiere può variare dai 50 ai 100m e si ritiene che sia sufficientemente ravvicinata da impedire manovre incaute da parte dei conducenti distratti. L'eventuale impiego di coni serve proprio a "protezione" dei lavoratori ma è molto più efficace una protezione di questo tipo piuttosto di quella fornita dai coni a margine della corsia interessata.

Differenza n.9

Un aspetto che è stato già affrontato in tale elaborato è l'eventuale assenza o impraticabilità della corsia di emergenza. Nel regolamento Tecne [3] viene proposta un'ulteriore distinzione riguardante le corsie di emergenza a larghezza ridotta o normali. Tale distinzione vede l'impiego di mezzi a dimensione inferiore nel caso di corsia a larghezza ridotta ma non viene mai menzionata la possibilità che tale corsia non sia affatto presente lungo tutto il tratto interessato dalla lavorazione. Se nel caso di cantieri fissi era stato proposto dal D.M 10/07/2002 [2] di porre la segnaletica al di fuori della carreggiata, in questo caso, trattandosi di mezzi di protezione, ciò non è evidentemente possibile. Si era proposto inoltre che, nei casi in cui i margini della carreggiata fossero fitti di vegetazione o se la carreggiata fosse rialzata rispetto al terreno, di porre la segnaletica su appositi supporti installati al di sopra del guardrail. Ovviamente anche in questo caso tale suggerimento non è realizzabile e pertanto si ritiene necessaria una più precisa indicazione da parte del legiferante in questa casistica che in questa sede non verrà approfondita ulteriormente.

A tal proposito si riporta un estratto del regolamento Tecne [3] inerente l'assenza a tratti della corsia di emergenza:

"Cantieri mobili su carreggiate con corsia di emergenza assente a tratti

In corrispondenza di tratti in cui la corsia di emergenza risulti assente a tratti (es. in corrispondenza di ponti/viadotti), l'esecuzione dei cantieri in lento movimento o in avanzamento potrà essere autorizzata solo nel caso in cui risulti costantemente garantita la mutua visibilità tra i segnali di preavviso e di protezione. Potranno quindi essere utilizzate le seguenti modalità, suscettibili di adattamenti fermo restando il principio di cui sopra e le composizioni minime di mezzi e segnali previste negli schemi

allegati.

Corsia di emergenza assente per brevi tratti o su opere singolari

I mezzi di preavviso previsti dallo schema adottato devono fermarsi in corsia di emergenza immediatamente prima del tratto che ne è privo, in attesa che i mezzi operativi e di protezione completino le lavorazioni e quindi l'attraversamento del tratto medesimo. Subito dopo i mezzi di preavviso riprenderanno la marcia ricomponendo lo schema nel suo normale assetto.

Corsia di emergenza con interruzioni ricorrenti

In tali casi non è ammessa l'esecuzione degli schemi che prevedono la sola chiusura della corsia di emergenza. Pertanto, anche per lavori svolti esclusivamente all'interno di tale corsia, devono essere adottati gli schemi di chiusura della prima corsia di marcia in destra. L'avanzamento dei mezzi di preavviso deve avvenire con le stesse modalità di cui al punto precedente."

Seppur non è espressamente precisato si ritiene che rientrino in quest'ultimo caso anche i cantieri che interessano una strada che è priva di corsia di emergenza. È necessario però un chiarimento ulteriore per questa particolare situazione.

Come si può vedere dalla Fig. 1.35 se la corsia non è sufficientemente larga da contenere i mezzi operativi e/o di protezione, questi vengono posti sulla corsia di marcia.

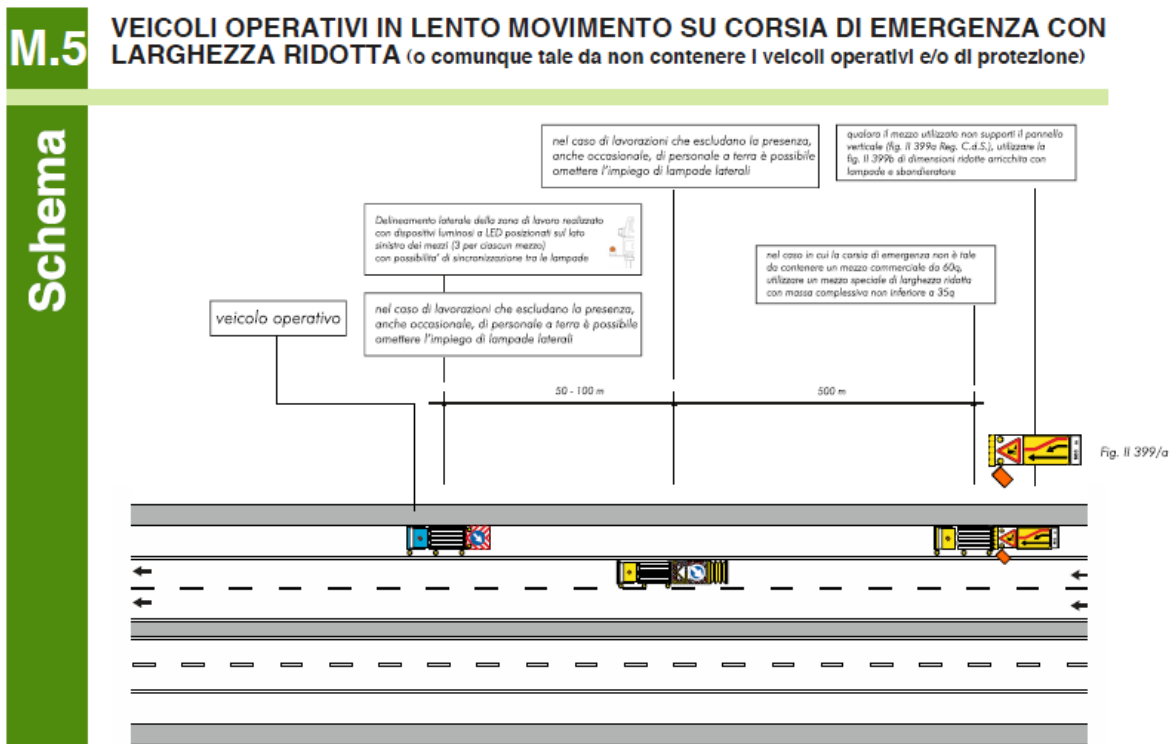


Figura 1.35: Tecne [3] Tavola M5- Cantieri in avanzamento con larghezza della corsia di emergenza ridotta

Differenza n.10

Un'ultimo aspetto sul quale verrà posta maggiore attenzione nel capitolo successivo riguarda le condizioni di scarsa visibilità per il cantiere. Per quanto riguarda il D.M. 10/07/2002 [2] vengono poste delle ulteriori prescrizioni con l'aggiunta di led a luce lampeggiante a distanza di 750m o 1 Km (a seconda del numero di corsie) dal primo cartello di preavviso. Tale prescrizione non è stata prevista però nel regolamento Tecne [3] seppur quest'ultimo includa il D.M. 10/07/2002 [2] al suo interno. Un'ulteriore indicazione che il D.M. 10/07/2002 [2] pone è quella di garantire la mutua visibilità dei segnali di almeno 300m che come vedremo difficilmente viene garantita nelle curve a raggio ristretto.

Si riportano in ogni caso gli estratti del D.M. 10/07/2002 [2] nei quali viene esposta tale prescrizione:

"I due segnali si spostano in maniera coordinata all'avanzamento dei lavori in modo che entrambi siano comunque separatamente visibili da almeno 300 metri. In caso non sia possibile garantire tali distanze di avvistamento occorrerà impiegare un ulteriore segnale mobile di preavviso in posizione intermedia."

Delle valutazioni più approfondite verranno espone nel capitolo successivo, nel presente si sono volute esplicitare le incongruenze o problematiche che sono state riscontrate dal confronto dei due regolamenti. Come già esposto nei principi cardine del D.M. 10/07/2002 [2], non esiste un solo modo per affrontare le problematiche dei cantieri autostradali ma è compito di chi gestisce la sicurezza dei cantieri prendere le decisioni opportune a seconda dei casi incontrati. È altresì compito di Tecne S.p.A. [3] modificare o integrare il D.M. 10/07/2002 [2] nei casi in cui lo ritiene necessario. Il D.M. 10/07/2002 [2] è stato emanato ben 21 anni fa con un livello di tecnologia molto più basso nei veicoli rispetto a quello che troviamo ad oggi. Ben presto avremo a disposizione dei veicoli in grado di guidare autonomamente e che avranno dei dispositivi di sicurezza inimmaginabili nel 2002 quando è stato rilasciato il Regolamento. Frenata automatica, controllo della traiettoria all'interno della segnaletica orizzontale, sorpasso automatico, questi sono dei piccoli esempi di come in futuro la guida verrà sempre di più affidata alla tecnologia invece che all'uomo. Sarebbe molto interessante sfruttare queste tecnologie per imporre ai veicoli la guida automatizzata nei tratti in cui è presente un cantiere, in modo tale da avere la certezza che nessun conducente possa effettuare manovre sbagliate. Nello stesso tempo però il disciplinare Tecne [3] ha subito numerose modificazioni e nonostante sia assente una normativa adeguata e al passo con i tempi, in qualche modo sono state trovate delle soluzioni più adeguate alle più disparate problematiche incontrate negli anni. Obiettivo di Tecne S.p.A. è sempre quello di eliminare qualunque causa di possibili incidenti ma come ben sappiamo ciò è praticamente impossibile, ad ogni modo, come dimostra la collaborazione con il Politecnico di Torino, l'impegno rivolto in questa causa c'è ed è concreto e questo elaborato ne è una piccola dimostrazione.

1.4 Confronto tra le Normative nei principali Paesi UE

Nel corso dell'analisi della normativa Italiana relativa ai cantieri autostradali, abbiamo affrontato un quadro completo delle regolamentazioni nazionali e delle prassi adottate per garantire la sicurezza nelle aree di lavoro. Tuttavia, al fine di migliorare ulteriormente la comprensione e l'efficacia di tali regolamentazioni, è cruciale guardare oltre i confini nazionali e confrontare l'esperienza italiana con quella di altri Paesi Europei. In questa sezione ci concentreremo su un'analisi degli incidenti stradali nei principali Paesi Europei, al fine di individuare le tendenze e confrontare le performance in termini di sicurezza stradale. Successivamente, esamineremo le diverse metodologie di segnaletica impiegate in questi Paesi, mettendo in evidenza pregi e difetti delle stesse. Questo approccio comparativo ci consentirà di rafforzare la nostra comprensione delle migliori pratiche internazionali e di identificare potenziali opportunità di miglioramento nel contesto italiano dei cantieri autostradali.

1.4.1 Gli incidenti nelle autostrade Europee

Nell'ambito di questa ricerca, abbiamo condotto un'analisi approfondita dei dati sugli incidenti e sulle morti in autostrada nei quattro principali Paesi Europei: Italia, Francia, Germania e Spagna. Al fine di raccogliere informazioni accurate e aggiornate, abbiamo consultato i rapporti ufficiali pubblicati dalle autorità di statistica degli stessi Paesi, rispettivamente l'Istituto Nazionale di Statistica Italiano (Istat), l'Observatoire National Interministériel de la Sécurité Routière francese (ONISR), il Statistisches Bundesamt tedesco e la Dirección General de Tráfico spagnola (DGT).

Questi report sono fondamentali per la nostra analisi in quanto forniscono dati dettagliati sugli incidenti stradali, compresi quelli che coinvolgono le autostrade, nonché le cifre riguardanti le vittime di tali incidenti. Attraverso queste fonti ufficiali, siamo in grado di esaminare le tendenze nel tempo, identificare possibili fattori di rischio e valutare l'efficacia delle politiche di sicurezza stradale in ciascun Paese. Ovviamente non tutti gli incidenti riportati sono da attribuire alla sicurezza dei cantieri autostradali, ottenere i dati relativi alla presenza di cantiere è pressochè impossibile, ma questa panoramica potrebbe servire come valutazione generale sulle autostrade più sicure nella Comunità Europea.

È doveroso ricordare che il 2020 e il 2021 hanno visto un calo drastico degli utenti che hanno usufruito dell'infrastruttura a causa delle limitazioni imposte per la pandemia di Covid 19. I dati relativi a questi anni, seppur riportati, saranno trascurati ai fini delle valutazioni finali.

Si riporta all'interno della tabella 1.1 un riepilogo con tutti i tassi di mortalità per milione di abitante di tutti i Paesi Europei. Vediamo come l'Italia tra i Paesi analizzati si collochi tra quelli con il più alto tasso di mortalità per milione di abitante (54) ben al di sopra della media europea(46). Mentre Germania e Spagna sono tra i Paesi con le strade più sicure d'Europa, proprio da questi ma anche dalla Francia prenderemo spunto per una valutazione più accurata nella gestione dei cantieri per capire se adottano procedure più sicure di quelle previste nel nostro Paese.

Tabella 1.1: Tasso di mortalità per milione di abitante

Paese	Tasso di mortalità
Svezia	22
Danimarca	26
Irlanda	31
Germania	33
Finlandia	34
Spagna	37
Estonia	38
Slovenia	40
Austria	41
Cipro	41
Paesi Bassi	42
Lituania	43
Belgio	45
Slovacchia	45
Francia	48
Malta	50
Repubblica Ceca	50
Polonia	50
Italia	54
Ungheria	55
Lussemburgo	56
Lettonia	60
Grecia	61
Portogallo	62
Croazia	71
Bulgaria	78
Romania	86
UE-27	46

È doveroso precisare che questo indicatore tiene conto di tutte le tipologie di strada e non solo delle autostrade, inoltre non fa riferimento alla presenza di cantieri nei pressi dell'incidente ma è semplicemente un indicatore che tiene conto dell'incidentalità in tutti i contesti e cause possibili all'interno di ogni Paese. Tuttavia rimane un ottimo indicatore della sicurezza e delle procedure impiegate per la gestione del contesto stradale nei vari Paesi che inevitabilmente si riversa anche nell'impegno che ogni Paese impiega nel miglioramento delle infrastrutture.

Incidenti in Italia

Nel contesto italiano l'ente che si occupa di raccogliere i dati relativi all'incidentalità sulle strade è l'Istat (Istituto Nazionale di Statistica Italiano) che nel Luglio 2023 ha pubblicato in un report, in collaborazione con ACI (Automobile club d'Italia), i dati ufficiali relativi al 2022 [8]. Viene fatta una breve panoramica sul numero di incidenti stradali in generale che negli anni hanno subito una netta decrescita grazie al miglioramento delle infrastrutture e dei veicoli. Dopodichè, nelle tavole successive, vengono differenziati gli incidenti a seconda della categoria stradale, delle cause e più nello specifico anche in funzione della posizione dei veicoli all'interno della strada interessata (curva, dossi). Proprio da questi ultimi dati sarà interessante andare a valutare la pericolosità della presenza di queste limitazioni visive che inevitabilmente aumentano le probabilità di incidente, soprattutto se in presenza di cantiere.

Tabella 1.2: Dati sugli incidenti stradali in Italia (2019-2022)

Anno	Autostrade e Raccordi	Altre strade	Strade Urbane	Totale
2019	9.076	36.107	127.000	172.183
2020	5.451	26.165	86.682	118.298
2021	7.631	33.293	110.951	151.875
2022	8.375	35.696	121.818	165.889

Come già preannunciato i dati relativi agli anni 2020 e 2021 sono trascurabili poichè non tutta la popolazione aveva al possibilità di lavorare e quindi di usufruire della rete Autostradale. Tuttavia è stata comunque registrata una lieve diminuzione degli incidenti considerando solo gli anni 2019 e 2022 (-8%). Nel presente documento ci concentreremo sulla prima colonna relativa alle Autostrade e da qui andremo ad approfondire maggiormente sul numero di morti che questi incidenti hanno causato e sulle cause degli stessi.

Tabella 1.3: Dati sui morti relativi agli incidenti stradali in Italia (2019-2022)

Anno	Autostrade e Raccordi	Altre strade	Strade Urbane	Totale
2019	310	1.532	1.331	3.173
2020	195	1.139	1.061	2.395
2021	246	1.365	1.264	2.875
2022	295	1.531	1.333	3.159

Ovviamente al diminuire degli incidenti anche per i morti è stato registrato un decremento tra il 2019 e il 2022 (-5%) ma l'aspetto più interessante riguarda la Tabella 1.4 nella quale sono stati riportati i dati relativi alla posizione geografica dell'incidente all'interno dell'infrastruttura.

Escludendo rotatorie e intersezioni che naturalmente non interessano le Autostrade, un valore che subito salta all'occhio è quello del numero di incidenti che si sono verificati in curva (1704). Si tratta di un valore molto elevato se si considera che rappresenta il 20% degli incidenti totali (8375). Proprio per questo motivo sarà interessante nel prosieguo dell'elaborato prestare particolare attenzione al posizionamento dei cantieri in curva. Poichè se nelle condizioni normali di traffico e quindi in assenza di cantiere (seppur non specificato dal report), si registra un così alto numero di incidenti, il cantiere non può che essere un fattore che va a peggiorare la sicurezza dei conducenti lungo la percorrenza della curva.

Tabella 1.4: Dati sugli incidenti stradali in Italia per caratteristiche della strada (2022)

Caratteristiche Strada	Autostrade	Altre Strade	Strade Urbane	Totale
Incrocio	-	3.120	25.509	28.629
Rotatoria	-	1.300	6.363	7.663
Intersezione segnalata	-	2.730	12.815	15.545
Intersezione con semaforo o vigile	-	486	8.326	8.812
Intersezione non segnalata	-	194	1.353	1.547
Passaggio a livello	-	4	37	41
Rettilineo	6.489	18.782	56.966	82.237
Curva	1.704	8.131	8.740	18.575
Dosso, strettoia	17	270	464	751
Pendenza	26	434	1.023	1.483
Galleria illuminata	136	200	176	512
Galleria non illuminata	3	45	46	94
Totale	8.375	35.696	121.818	165.889

Per questo motivo è necessario andare a valutare tutte le possibili criticità che un cantiere può rappresentare quando è posizionato lungo una curva e da queste cercare di fornire delle soluzioni alternative. Questo è stato fatto in maniera approfondita all'interno del capitolo 2 dell'elaborato, andando ad analizzare la curva e i relativi schemi segnaletici evidenziando tutte le possibili problematiche. Purtroppo questi valori dettagliati sulla posizione geografica dell'incidente sono stati resi disponibili solamente per quanto riguarda le autostrade italiane e come vedremo per gli altri Paesi non sarà possibile attribuire alle curve una responsabilità così rilevante. Tuttavia vedremo come altri Paesi utilizzano degli schemi segnaletici più cautelativi e che si avvicinano molto alle proposte che verranno fornite al capitolo 2 del presente elaborato, quantomeno in termini di distanza tra i vari segnali nel caso di visibilità ridotta.

Incidenti in Francia

L'ente responsabile della raccolta dati in Francia è l'Observatoire National Interministériel de la Sécurité Routière francese (ONISR). Come per l'Italia annualmente viene redatto un report conclusivo che raccoglie tutti i dati ufficiali riguardanti gli incidenti avvenuti nel corso dell'anno all'interno dell'intera rete stradale e autostradale Francese [9].

Tabella 1.5: Dati sulle autoroutes in Francia (2010-2022)

Anno	Autostrade	Extra-urbane	Urbane	Totale
2010	256	2.603	1.133	3.992
2017	282	2.156	1.010	3.448
2018	269	2.016	963	3.248
2019	263	1.944	1.037	3.244
2020	201	1.497	843	2.541
2021	248	1.733	963	2.944
2022	294	1.934	1.039	3.267
Scarto 2022-2019	+31	-10	+2	+23
Evoluzione 2022-2019	+11,8%	-0,5%	+0,2%	+0,7%
Evoluzione 2010-2022	+14,8%	-25,7%	-8,3%	-18,2%

Dai dati francesi si trovano valori in controtendenza rispetto a quelli rilevati in Italia, dal 2019 al 2022 il numero di morti a causa di incidenti Autostradali ha avuto un incremento del 11,8% rimanendo però su valori molto vicini a quelli che si hanno in Italia. Tuttavia come vediamo dai dati del 2019 il numero di morti nello stesso anno in Italia è notevolmente superiore, 310 in Italia contro i 263 in Francia con valori che comunque anche negli anni precedenti al 2019 si mantengono inferiori a quelli registrati nel nostro Paese. Tuttavia dal 2010 al 2022 c'è stato un incremento notevole dei morti in Autostrada (+14,8%) accompagnato però da una diminuzione altrettanto elevata di vittime nelle strade extra-urbane (-25,7%) all'interno delle quali si utilizzano schemi segnaletici analoghi a quelli adottati nelle autostrade.

Incidenti in Germania

Per quanto riguarda le strade Tedesche l'ente che si occupa della raccolta dati è "Statistisches Bundesamt" che mensilmente pubblica un rapporto riepilogativo sugli incidenti avvenuti sulle strade tedesche e alla fine dell'anno un excel che racchiude tutti i dati ottenuti.

Tabella 1.6: Incidenti stradali in Germania per categoria e luogo negli anni 2019-2022

Categoria/Luogo dell'incidente	2019	2020	2021	2022
Zona urbana	207.625	183.412	176.948	203.226
Zona extra-urbana	72.538	65.850	65.632	68.691
Autostrade	19.980	15.237	16.407	17.755

Il numero di morti esatti registrati in Germania non sono disponibili poichè sono stati raggruppati per 1000Km di infrastruttura. Nel caso delle autostrade Tedesche l'ultimo dato disponibile in rete sulla lunghezza effettiva delle autostrade risale al 2013, anno nel quale si stimava la lunghezza complessiva dell'autostrada a 12845Km. Dalla tabella 1.7 possiamo vedere quindi che a un tasso di 24 morti per 1000Km di abitante, relativo al 2022, corrispondano 308 morti circa. Bisogna tenere in considerazione però il numero di abitanti della Germania (83,2 milioni) che sono ben al di sopra di quelli che si contano in Italia (59,1 milioni). Questo rende i dati riportati nettamente migliori a quelli registrati nel nostro Paese e in linea con il tasso di mortalità precedentemente riportato che vede la Germania ai primi posti per quanto riguarda la sicurezza delle strade.

Tabella 1.7: Morti nelle strade tedesche per categoria stradale x 1000Km di strada

Anno	Autostrade	Strade statali	Strade regionali	Strade locali
2013	33,0	22,0	11,0	5,0
2014	29,0	23,0	11,0	5,0
2015	32,0	24,0	11,0	5,0
2016	30,0	22,0	11,0	5,0
2017	31,0	22,0	10,0	5,0
2018	33,0	22,0	10,0	5,0
2019	27,0	21,0	10,0	5,0
2020	24,0	15,0	9,0	4,0
2021	24,0	16,0	9,0	4,0
2022	24,0	17,0	8,0	5,0

Anche in Germania, come in molti Paesi Europei la tendenza degli anni è quella di una diminuzione considerevole degli incidenti così come delle vittime della strada. Nel caso in esame dal 2013 ad oggi la diminuzione registrata si attesta al -27% circa, valore tra i più alti dell'intera comunità Europea.

Incidenti in Spagna

In Spagna l'ente che si occupa della redazione del rapporto annuale sugli incidenti stradali è La Dirección General de Tráfico (DGT) che nel 2023 ha riportato i valori definitivi su tutti gli incidenti avvenuti del territorio Spagnolo nel 2022 nel "Balance de las cifras de siniestralidad vial 2022" [10].

Tabella 1.8: Dati sulle morti nelle strade extra-urbane in Spagna dal 2013 al 2022

Anno	Totale	Autostrada	%	Due carreggiate	%	Resto	%
2013	1.230	63	5%	227	18%	940	76%
2014	1.247	64	5%	226	18%	957	77%
2015	1.248	75	6%	202	16%	971	78%
2016	1.291	85	7%	242	19%	964	75%
2017	1.321	85	6%	223	17%	1.013	77%
2018	1.317	82	6%	241	18%	994	75%
2019	1.236	91	7%	249	20%	896	72%
2020	975	65	7%	159	16%	751	77%
2021	1.116	81	7%	235	21%	800	72%
2022	1.270	98	8%	243	19%	929	73%

Valutando i risultati che ne sono emersi notiamo come all'interno delle autostrade si verificano un numero di incidenti notevolmente più basso rispetto ai valori registrati negli altri Paesi Europei. Valori che la collocano ai primi posti nel tasso di mortalità per milione di abitante in Europa. Bisogna precisare però che questo tasso tiene conto di tutti i sinistri stradali senza alcuna differenziazione sulla categoria stradale interessata e che inoltre il numero di abitanti della Spagna è di 47 milioni circa. La rete Spagnola conta al 2010 una lunghezza totale di 3632Km, molto inferiore rispetto agli altri Paesi considerati, soprattutto se si considera che questo valore tiene conto sia delle "Autopistas" (Autostrade) che delle "Autovías" (strade extra-urbane a due carreggiate). Dato che giustifica i valori riportati nella colonna "Due carreggiate" della tabella 1.8 che risultano in linea con i valori trovati negli altri Paesi Europei. È molto probabile infatti che i flussi più importanti di traffico veicolare in Spagna viaggino su strade extraurbane principali a causa proprio dell'assenza di una fitta rete autostradale. Se a questo si aggiunge un altro fattore fondamentale che risiede nella valutazione dei decessi in ambito stradale da parte del Paese Iberico si riesce a spiegare perchè il numero di decessi sia tanto inferiore rispetto a tutti gli altri Paesi. Nel rapporto spagnolo [10] infatti si contano i decessi avvenuti entro le 24 ore dal sinistro a differenza dell'Italia e di altri Paesi che considerano un periodo di riferimento ben più ampio (30 giorni).

Valutazioni finali

In conclusione possiamo dire che tra i Paesi analizzati quello che possiede la rete autostradale più sicura sia senza dubbio la Germania. Paese nel quale si conta una delle più fitte reti autostradali in Europa ma che registra un numero di incidenti e relative vittime tra i più bassi. La spiegazione a questi numeri è molto complessa poichè se da un lato si potrebbe pensare che il fatto di avere tanti chilometri di autostrade in più potrebbe distribuire meglio il traffico veicolare, al quale si aggiunge una vasta scelta di trasporti pubblici forniti dal Paese, dall'altro come vedremo successivamente, gli schemi segnaletici forniti dal Paese sono tra i più accurati e cautelativi rispetto agli altri Paesi analizzati. Ovviamente non si vuole assumere che tutta la responsabilità degli incidenti sia da attribuire al modo in cui un Paese gestisce i cantieri in autostrada, però può rappresentare un indicatore valido dell'accuratezza con cui il Paese gestisce la sicurezza stradale.

1.4.2 I cantieri fissi

Nel contesto della gestione dei cantieri fissi e della sicurezza stradale, è di fondamentale importanza analizzare le pratiche adottate in vari Paesi Europei al fine di identificare differenze, pregi e difetti nei rispettivi approcci. Nel corso di questa ricerca, ci concentreremo sulla gestione dei cantieri fissi in Francia, Germania e Spagna, tre delle principali economie dell'Europa occidentale, e li metteremo a confronto con l'approccio italiano.

La gestione dei cantieri fissi è un aspetto cruciale per garantire la sicurezza degli automobilisti e dei lavoratori coinvolti in lavori stradali. Diversi Paesi hanno sviluppato normative e protocolli specifici per affrontare questa sfida, ma le differenze nelle metodologie possono influire notevolmente sui risultati in termini di sicurezza stradale e impatto sul traffico.

Nel prosieguo di questo studio, esamineremo in dettaglio come Francia, Germania e Spagna gestiscono i cantieri fissi, considerando aspetti come la pianificazione e la segnaletica stradale, le misure di sicurezza per i lavoratori e gli automobilisti, la gestione del traffico durante i lavori e la valutazione dell'efficacia delle politiche adottate. Ogni Paese ha le proprie leggi, regolamenti e procedure, oltre a risorse finanziarie e umane a disposizione per affrontare questa sfida. Tuttavia, ciascuno affronta il problema in modo unico, con pregi e difetti specifici legati al proprio contesto nazionale.

Questo studio mira a fornire un'analisi comparativa imparziale della gestione dei cantieri fissi in questi Paesi, al fine di trarre lezioni e suggerire miglioramenti per l'approccio italiano. La sicurezza stradale e la fluidità del traffico sono questioni di interesse primario in tutti i Paesi, e condividere le buone pratiche e affrontare le sfide comuni può portare a una migliore gestione dei cantieri fissi e, di conseguenza, a strade più sicure per tutti gli utenti.

I cantieri fissi in Italia

Prima di analizzare le metodologie e gli schemi segnaletici che vengono adottati nei principali Paesi Europei è importante dare una breve panoramica di quello che è attualmente previsto in Italia. Prenderemo come esempio gli schemi adottati dall'azienda Tecne [3] già visti nei paragrafi precedenti e che comunque si attengono a quanto previsto dal D.M. 10/07/2002 [2]. Per un cantiere che interessa la chiusura della corsia di marcia lo schema previsto è quello della figura 1.36. all'interno dello schema ritroviamo vari aspetti già analizzati all'interno del capitolo come la progressiva diminuzione della velocità a blocchi successivi di 20 Km/h e l'impiego di coni alternati a segnali di obbligo per la chiusura della corsia. Inoltre, come mostrato nello schema F.2 l'utilizzo dei coni si protrae lungo la zona cantierizzata e si interrompe solo nel momento in cui termina la zona interessata dal cantiere con il relativo segnale di fine limitazione. A differenza del D.M. 10/07/2002 [2] abbiamo visto come Tecne [3] preveda l'impiego di un cavalletto subito dopo la chiusura della corsia a protezione dell'area di lavoro e quindi di eventuali lavoratori, questo inoltre si ripete ogni 500 metri per lunghezze del cantiere molto elevate. Un ultimo appunto sul quale ci soffermeremo anche negli schemi che vengono proposti dagli altri Paesi riguarda la lunghezza totale del comparto segnaletico che va dal primo segnale "lavori in corso" fino al primo segnale di obbligo che inizia la smussatura della chiusura corsia. Nel caso in esame l'intero comparto segnaletico raggiunge una lunghezza totale di 804m, spazio a disposizione del conducente per accorgersi del cantiere e di conseguenza intraprendere la manovra per spostarsi sulla corsia di sorpasso. Analizzati tutti gli aspetti chiave su questo schema segnaletico vediamo allora quanto previsto negli altri Paesi.

della corsia, questo implica uno spazio minore a disposizione del conducente per effettuare la manovra che dal primo segnale di preavviso fino al primo segnale di obbligo è di 336m contro i 600m dello schema francese. Bisogna sottolineare però che la limitazione di velocità imposta in Italia è di 60 Km/h contro i 90Km/h in Francia.

Un aspetto meno rilevante ma che comunque differenzia i due schemi è la lunghezza longitudinale della smussatura. Se nell'immagine riportata nella figura 1.37 per lo schema francese è indicata a 150m, nella realtà questa è una lunghezza minima imposta dal regolamento che invece prevede una smussatura di 50m per ogni metro di larghezza della corsia. Se si considera ad esempio una corsia larga 3,5m come di consueto, si otterrebbe una smussatura lunga ben 175m in direzione longitudinale, molto più "dolce" di quella prevista in Italia di 108m.

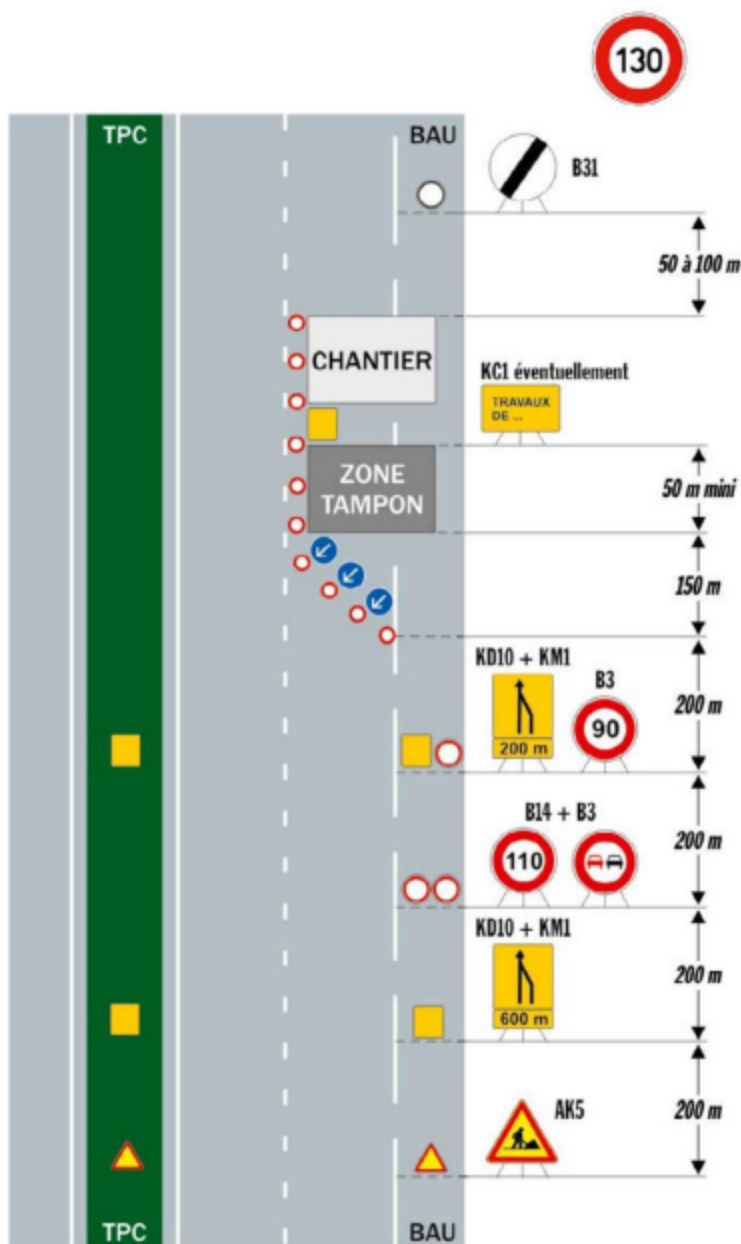


Figura 1.37: Francia - Chiusura della corsia di marcia

Un ultimo spunto interessante che si può trovare all'interno del regolamento francese riguarda le metodologie di posa dei coni longitudinali che compongono lo schema segnaletico. La procedura imposta per questo tipo di dispositivi è quella di posizionarli rimanendo al di sopra del mezzo utilizzato per il trasporto dei segnali. Un operatore incaricato infatti, rimanendo al di sopra del mezzo e attraverso il portellone laterale dello stesso, posiziona i coni lungo la corsia senza mai essere esposto al traffico in una situazione in cui l'area del cantiere, a causa del fatto che ancora non completamente allestito, rappresenta un pericolo serio per i lavoratori. Questa metodologia seppur prevista dal regolamento francese solo per i coni potrebbe essere implementata in Italia anche per la posa della segnaletica vera e propria nei limiti del possibile.

I cantieri fissi in Germania

Altrettanto interessante è lo schema proposto dalla normativa tedesca redatta dall'Associazione tedesca per la ricerca sulle strade e i trasporti (FGSV) che nel 2021 ha rilasciato l'RSA 2021 [12] che riporta le linee guida per la messa in sicurezza dei posti di lavoro sulle strade secondo il codice della strada. Una differenza sostanziale nell'approccio utilizzato in Germania è la preventiva riduzione della circolazione sulla corsia di sorpasso nonostante il cantiere sia posizionato all'interno della corsia di marcia. Questa procedura è interessante poichè risulta ancora più sicura di quella proposta dal regolamento francese [11] con la zona tampone, ma soprattutto perchè eventuali errori da parte di un conducente distratto porterebbero il veicolo in una zona completamente priva di operatori o mezzi incaricati nella manutenzione del tratto stradale. In questo modo quindi si crea una serpentina di auto che inevitabilmente devono accodarsi prima di raggiungere l'area del cantiere e inoltre questo allunga in direzione longitudinale il comparto segnaletico che precede la zona cantierizzata. Un aspetto insolito è però che nel caso di chiusura della corsia di sorpasso non è previsto un approccio come quello appena spiegato ma si prevede la chiusura semplice della corsia (Fig. 1.39). Oltre a questa procedura di sicurezza anche il regolamento tedesco prevede una zona tampone che precede l'area del cantiere e viene imposta a 100m contro i 50m minimi previsti in Francia. Mentre riguardo la lunghezza della smussatura, negli schemi tedeschi non viene data alcuna indicazione.

Analizzando lo spazio occupato dallo schema segnaletico, come evidenziato dalla quotatura presente alla destra della figura 1.38 raggiunge un totale di 2300m a partire dal primo segnale lavori fino alla prima deviazione che compone la smussatura della chiusura corsia. Bisogna precisare però che il primo segnale lavori in realtà viene disposto preventivamente a una distanza di 1200m dal secondo dello stesso tipo che inizia l'effettivo schema segnaletico. Considerando infatti solamente il secondo segnale di "lavori in corso" lo spazio previsto per la segnaletica di preavviso risulta di 800m per quanto riguarda i soli segnali posti sulla corsia di emergenza, ai quali si aggiungono ulteriori 300m per la serpentina che viene adottata.

Un altro aspetto che possiamo notare dallo schema tedesco riguarda la limitazione di velocità che risulta di 80Km/h contro i 60Km/h Italiani e i 90Km/h Francesi. Inoltre, a causa del fatto che la corsia viene chiusa per un breve tratto lo schema tedesco impone la ripetizione dei segnali di preavviso anche sullo spartitraffico alla sinistra della corsia di sorpasso. Questa disposizione viene utilizzata anche nel regolamento Tecne [3] per i cantieri che riguardano la corsia di sorpasso ma in questo caso si sta valutando la chiusura della sola corsia di marcia.

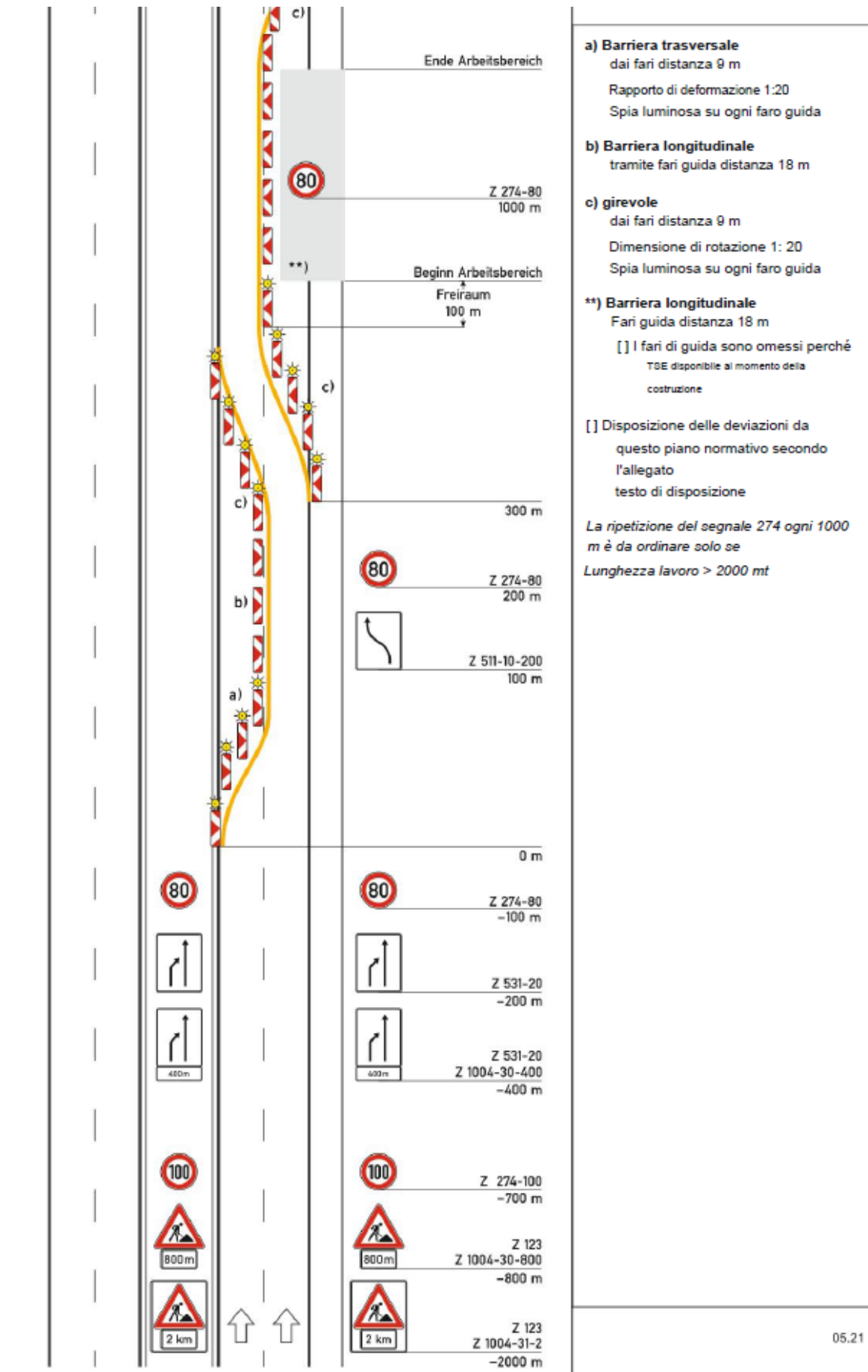


Figura 1.38: Germania - Chiusura della corsia di marcia

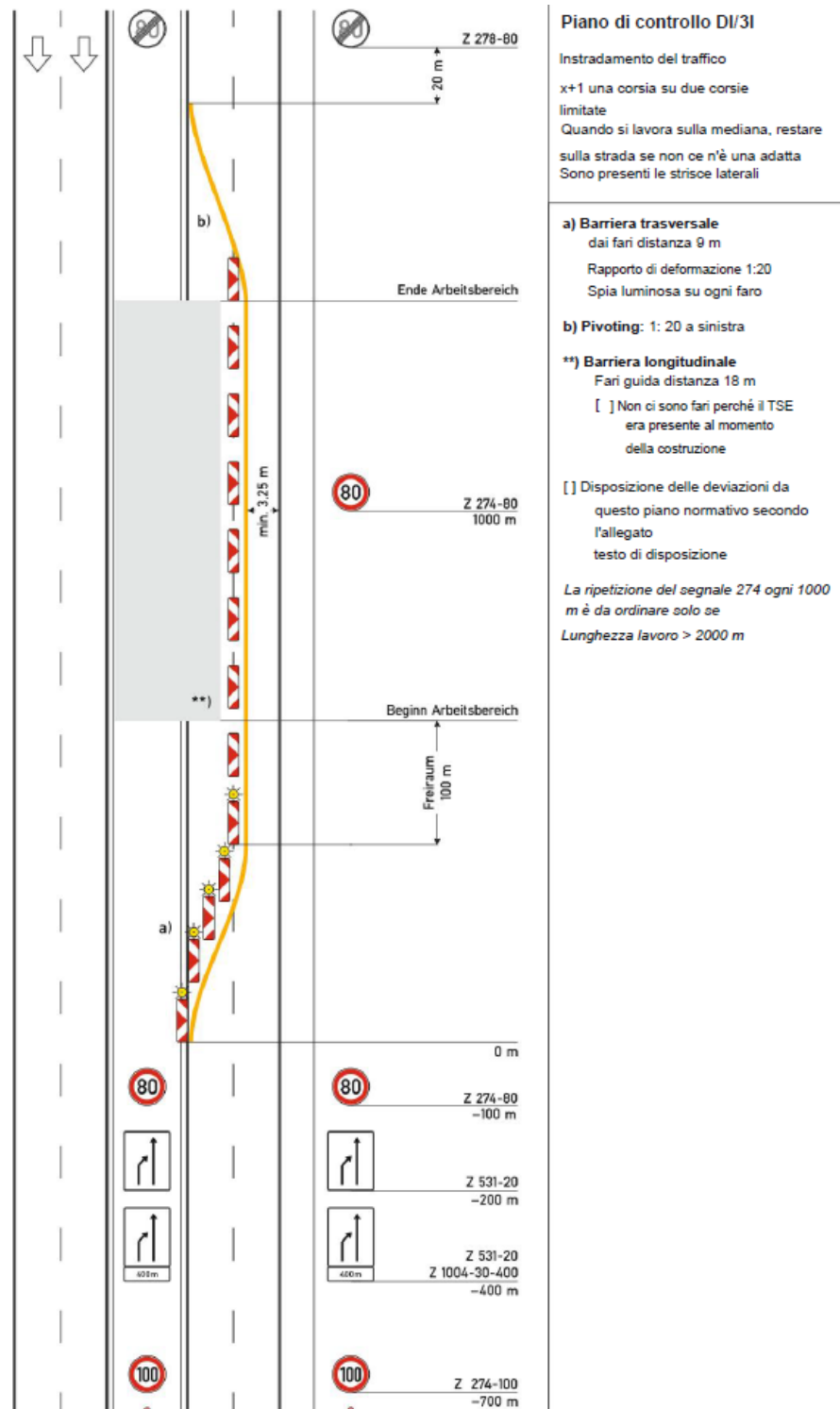


Figura 1.39: Germania - Chiusura della corsia di sorpasso

I cantieri fissi in Spagna

Per quanto riguarda l'allestimento dei cantieri in Spagna l'ente che si occupa della gestione della segnaletica è il Ministero dello sviluppo - Direzione generale delle strade. L'ultimo regolamento disponibile risale al 1997 e si chiama "Manual de ejemplos de senalización de obras fijas" [13].

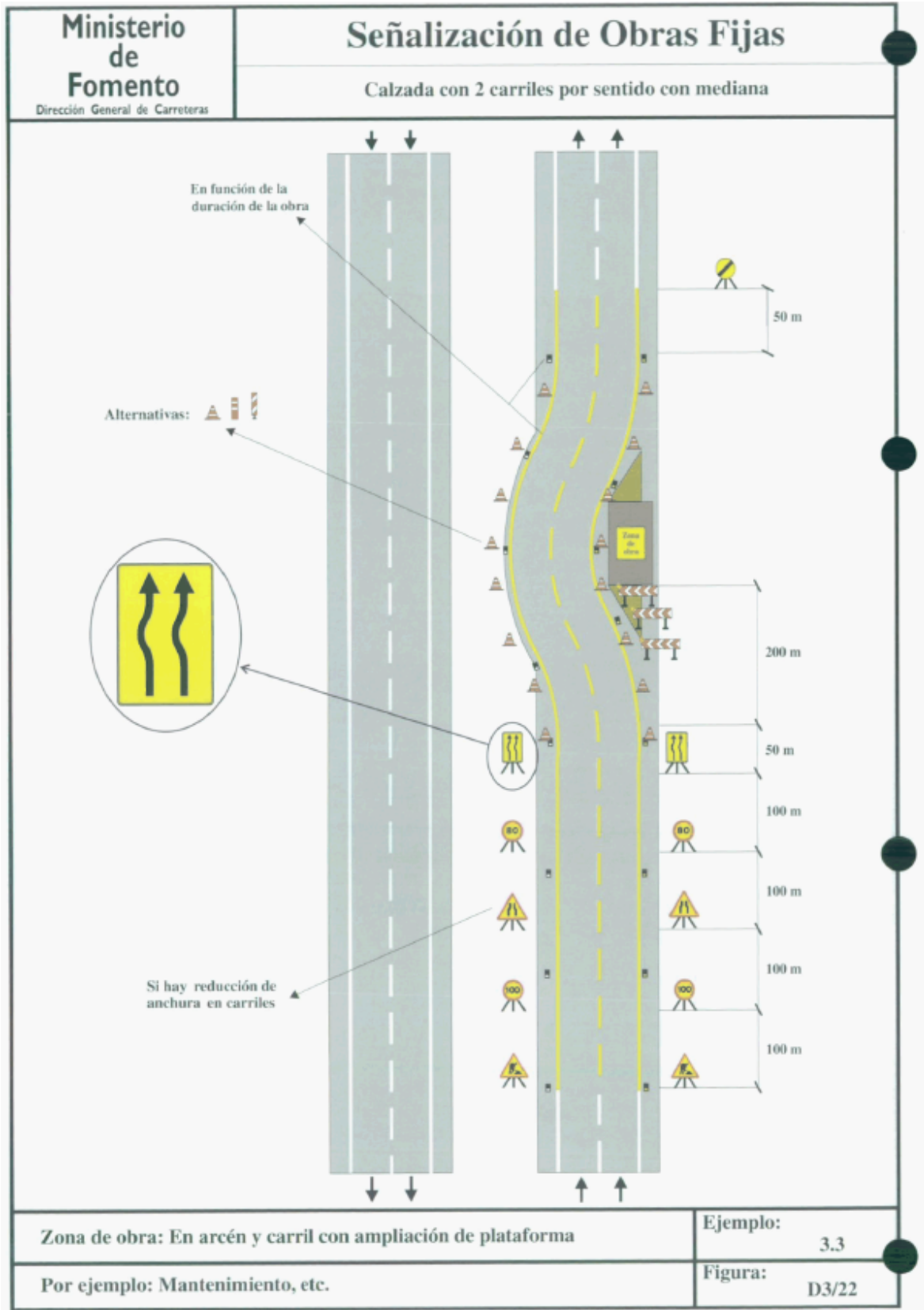


Figura 1.40: Spagna - Deviazioni delle corsie al di fuori della sede stradale originale

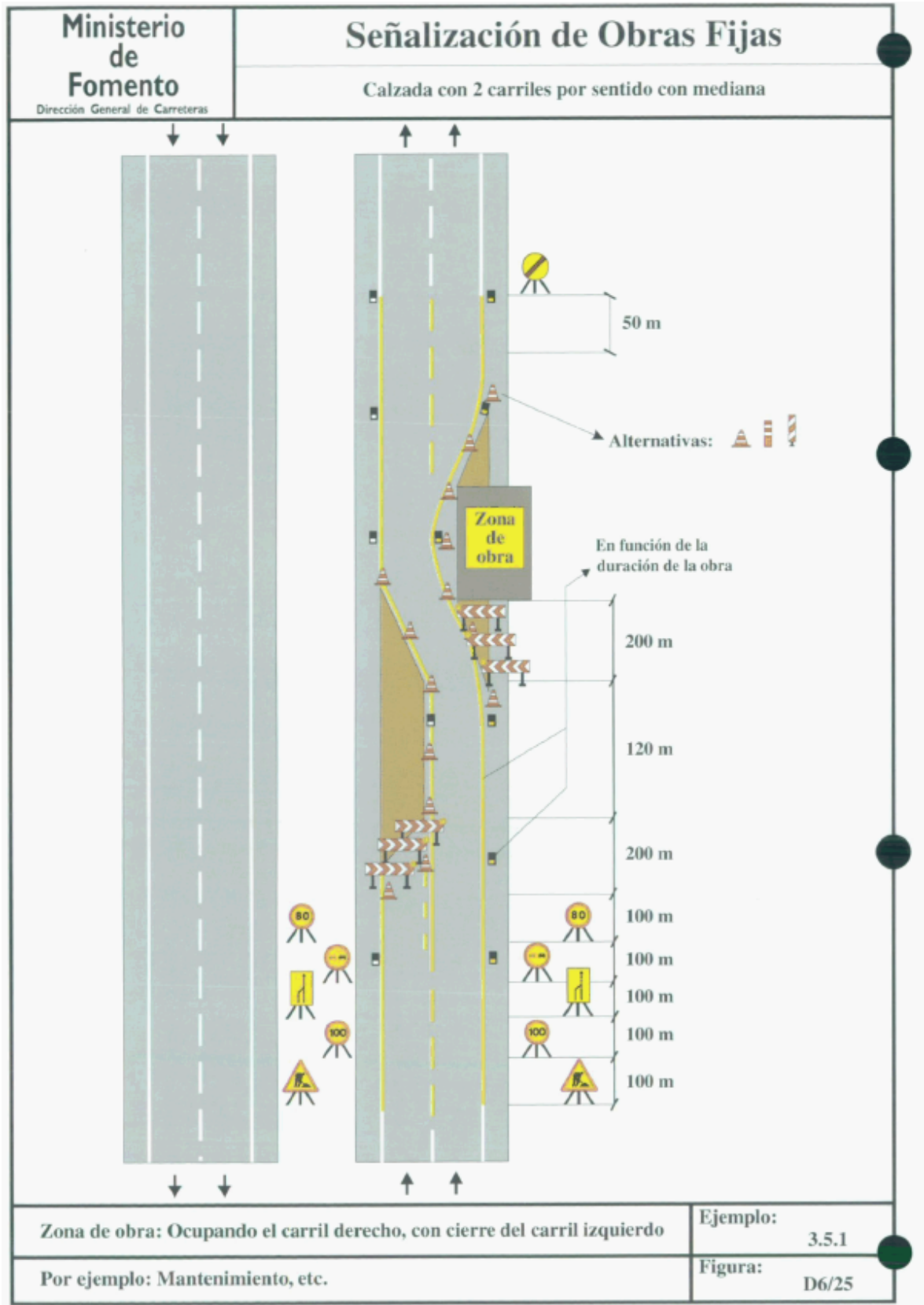


Figura 1.41: Spagna - Chiusura della corsia di marcia

L'approccio utilizzato dalla Spagna è insolito rispetto a tutti gli altri schemi analizzati fin'ora. Come evidenziato dalle figure 1.40 e 1.41 infatti la normativa Spagnola prevede

laddove possibile di deviare tutte le corsie al di fuori della normale sede stradale creando una serpentina (Fig. 1.40). Questo è un approccio che si ripete in molti degli schemi spagnoli che consente pertanto di mantenere un flusso veicolare abbastanza scorrevole ed evitare code nei pressi del cantiere che ovviamente sono causa di possibili incidenti. In alternativa invece se la sede stradale non lo permette per la presenza ad esempio di cantiere su un viadotto o ponte si prevede uno schema simile a quello già visto in Germania con la chiusura preventiva della corsia di sorpasso per creare una serpentina prima dell'arrivo alla zona del cantiere.

Per quando riguarda la lunghezza longitudinale della smussatura, in Spagna si registra il valore più alto che è fissato a 200m in tutti gli schemi senza alcuna differenziazione come fatto in Francia. Inoltre, la lunghezza totale del comparto segnaletico è molto simile a quella prevista dal regolamento tedesco [12] per un totale di 1020m compresi di chiusura preventiva della corsia di sorpasso. Si ritrova anche la ripetizione della segnaletica sullo spartitraffico che separa le due carreggiate dovuta proprio al fatto che anche la Spagna prevede di chiudere la corsia di sorpasso preventivamente e pertanto è necessario informare i conducenti che viaggiano sulla stessa.

L'approccio impiegato in Spagna per l'indirizzamento del conducente verso l'imminente chiusura della corsia si avvicina molto a quello previsto in Italia con la differenza che in Spagna è previsto un solo segnale di preavviso chiusura corsia contro i due previsti in Italia. Inoltre, così come avviene nel regolamento tedesco la limitazione della velocità è fissata a 80Km/h.

Infine, così come avviene in Germania anche nel regolamento spagnolo [13] per la chiusura della corsia di sorpasso non è prevista l'installazione della serpentina in previsione del cantiere. Come mostrato dalla figura 1.42 infatti per la chiusura della corsia di sorpasso il comparto segnaletico adottato è estremamente ridotto e addirittura il meno sicuro tra tutti quelli analizzati. Sono previsti infatti segnali per un'estensione di soli 500m a partire dal primo segnale "lavori in corso" fino al primo segnale che inizia la smussatura. È alquanto insolito che si riponga maggiore cautela nella chiusura della corsia di marcia dove si viaggia a velocità inferiori piuttosto che per la chiusura della corsia di sorpasso. Sarebbe opportuno in entrambe le situazioni adottare la metodologia ampiamente analizzata sia nel caso della Germania che per la Spagna e che rappresenta una proposta valida per migliorare gli schemi segnaletici utilizzati in Italia.

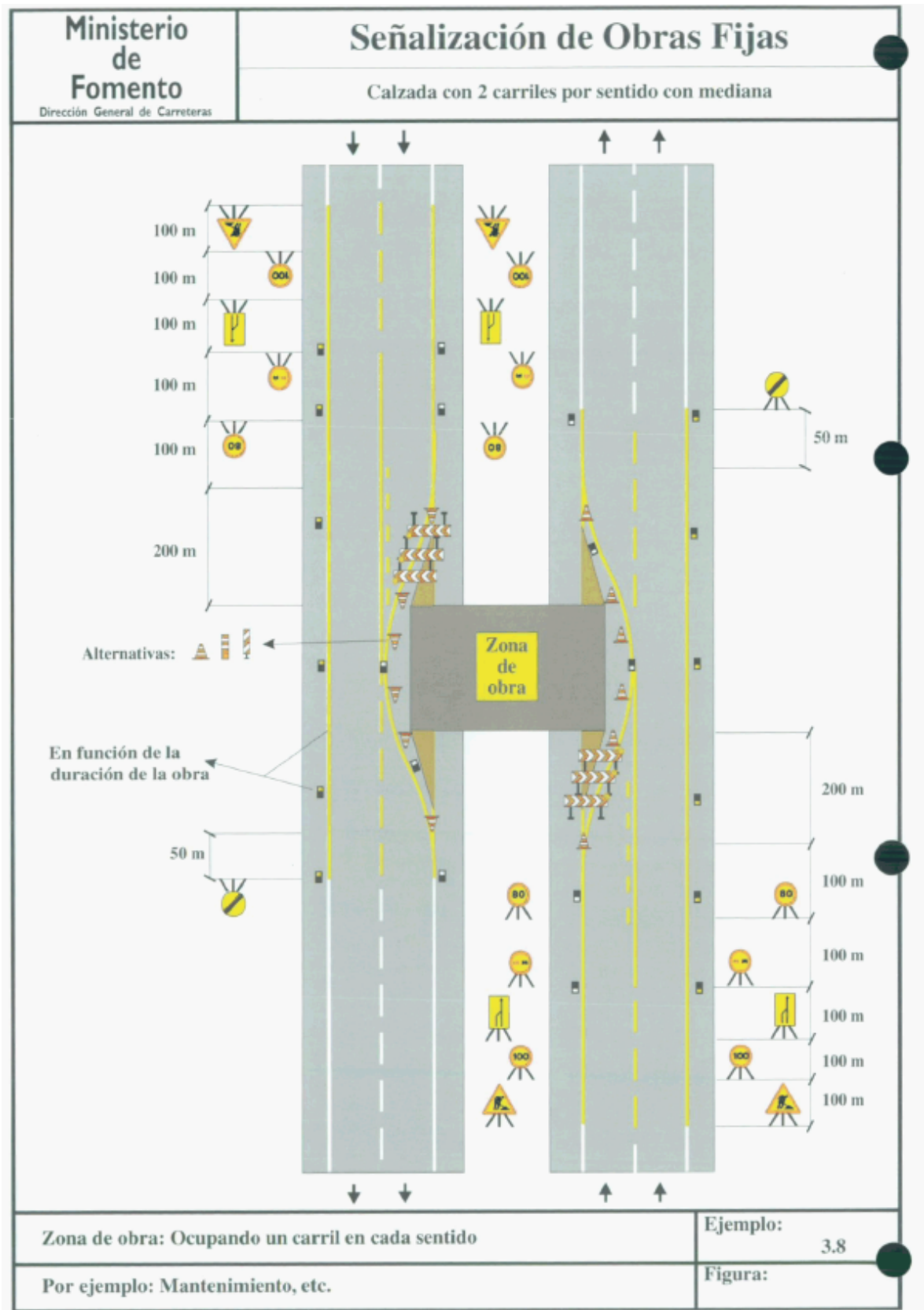


Figura 1.42: Spagna - Chiusura della corsia di sorpasso

1.4.3 I cantieri mobili

La gestione dei cantieri mobili rappresenta una componente cruciale dell'infrastruttura stradale di qualsiasi Paese e riveste un ruolo fondamentale nella sicurezza stradale e nell'efficienza del sistema di trasporto. In questa analisi, esploreremo come quattro nazioni europee di rilievo - Francia, Germania, Spagna e Italia - affrontano questa sfida complessa e dinamica.

I cantieri mobili sono fondamentali per la manutenzione e l'ammodernamento delle strade. Tuttavia, la gestione di tali cantieri richiede una pianificazione precisa, la coordinazione di risorse umane e tecniche e una comunicazione efficace con il pubblico per minimizzare l'impatto sul traffico e garantire la sicurezza dei lavoratori e degli automobilisti.

Ogni Paese ha affrontato sfide specifiche legate alla gestione dei cantieri mobili, e ognuno ha sviluppato soluzioni che rispecchiano il proprio contesto nazionale. Tuttavia, il confronto tra queste diverse strategie può offrire preziose opportunità di apprendimento reciproco e l'identificazione delle migliori pratiche per l'intera comunità europea.

L'obiettivo di questo studio è quello di analizzare e valutare le politiche e le pratiche di gestione dei cantieri mobili in Francia, Germania, Spagna e Italia, con lo scopo di fornire una visione completa delle differenze, dei pregi e dei difetti di ciascun approccio. Tale analisi potrebbe offrire importanti spunti per migliorare la gestione dei cantieri mobili in tutte queste nazioni, contribuendo così a una maggiore sicurezza stradale e all'efficienza del sistema di trasporto in Europa.

I cantieri mobili in Italia

M.14 CANTIERE IN AVANZAMENTO, CHIUSURA DELLA CORSIA DI MARCIA

Schema

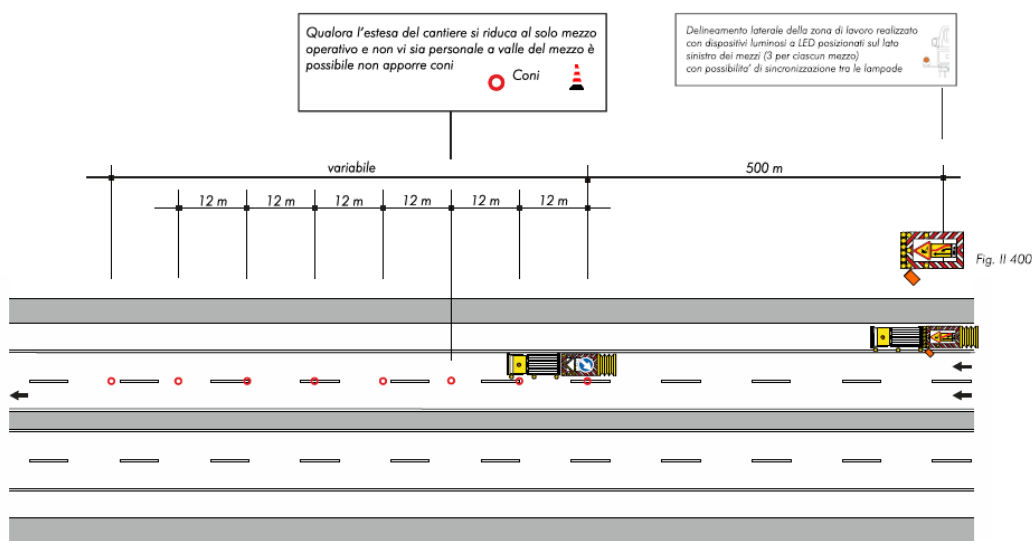


Figura 1.43: Italia - Chiusura della corsia di marcia per un cantiere mobile

La gestione dei cantieri mobili in Italia viene analizzata approfonditamente nel capitolo 2 del presente elaborato. Gli schemi riportati nelle figure 1.43 e 1.44 sono quelli più vicini a quanto riportato all'interno del D.M. 10/07/2002 [2]. Tuttavia, Tecne S.p.A. per ragioni pratiche e di maggiore sicurezza ha previsto a seconda del tipo di lavorazione da effettuare la modifica degli schemi riportati, prevedendo ad esempio, laddove sia prevista la presenza di personale a terra, una maggiore protezione con mezzi più ravvicinati. In ogni caso per cantieri in avanzamento le disposizioni si distinguono a seconda di lavori sulla corsia di emergenza o sorpasso, andando a raddoppiare i mezzi utilizzati per il preavviso della chiusura corsia nel caso di lavori sulla corsia di sorpasso. In ogni caso poi la distanza tra il mezzo previsto per la chiusura della corsia e l'ultimo incaricato di presegnalare il cantiere è di 500m, come vedremo particolarmente elevata nel caso di cantiere in situazioni di scarsa visibilità.

Un altro aspetto interessante e che non troveremo negli altri regolamenti è la presenza dei dispositivi per la limitazione dell'urto che vengono installati dietro ai mezzi che sono esposti maggiormente al traffico. Inoltre, sia nel caso di chiusura della corsia di sorpasso che per quella di marcia si prevede il posizionamento dei mezzi di preavviso sulla corsia di emergenza.

M.16 CANTIERE IN AVANZAMENTO, CHIUSURA DELLA CORSIA DI SORPASSO

Schema

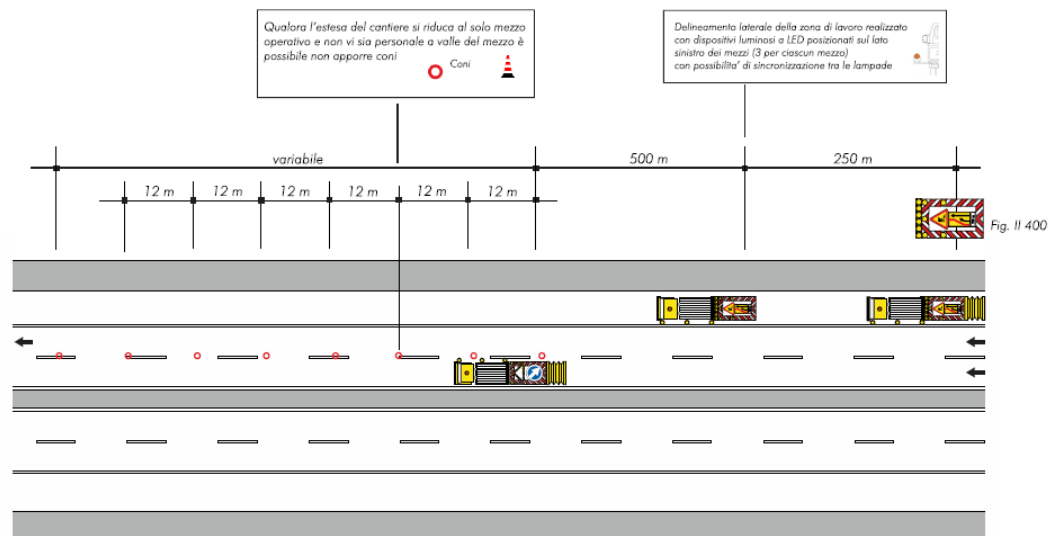


Figura 1.44: Italia - Chiusura della corsia di sorpasso per un cantiere mobile

I cantieri mobili in Francia

La prima differenza che salta subito all'occhio analizzando gli schemi delle figure 1.45 e 1.46 è il fatto che negli schemi francesi venga utilizzato lo stesso mezzo sia come preavviso che come chiusura della corsia. Inoltre, a differenza dell'Italia vengono impiegate frecce luminose invece delle lampade luminose semplici installate sui mezzi.

L'impostazione dello schema risulta abbastanza simile ma la distanza tra i mezzi di preavviso e chiusura è notevolmente inferiore anche nei casi di visibilità perfetta. È previsto infatti il mantenimento di una distanza compresa tra i 150m e i 200m e si ritrova la zona tampone di 50m minimo tra il mezzo che chiude la corsia e l'inizio del cantiere.

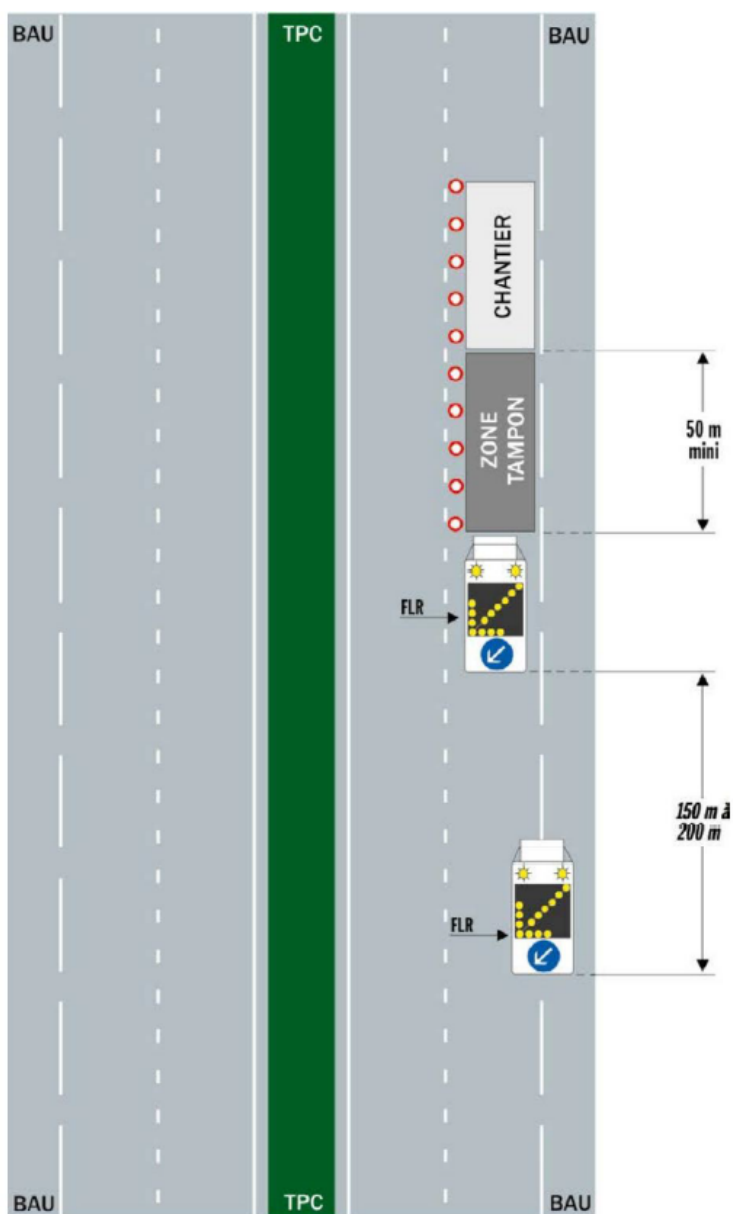


Figura 1.45: Francia - Chiusura della corsia di marcia per un cantiere mobile

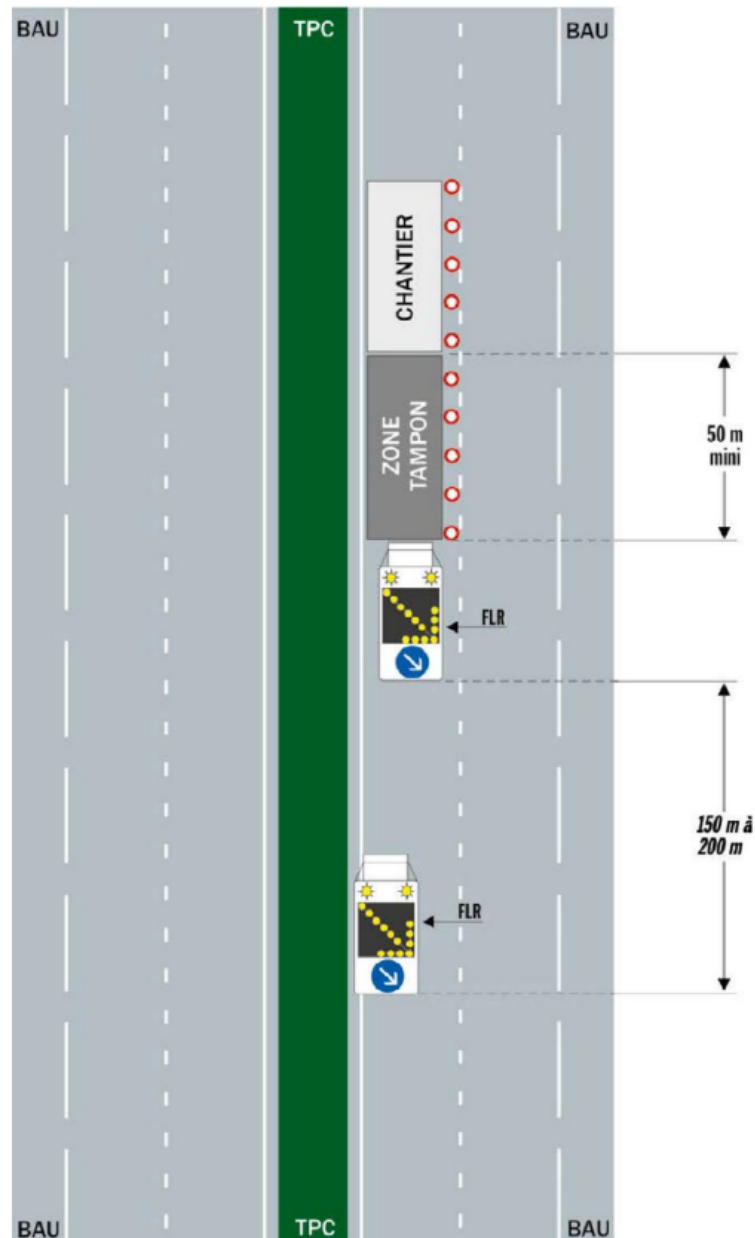


Figura 1.46: Francia - Chiusura della corsia di sorpasso per un cantiere mobile

A differenza degli altri Paesi poi, la Francia prevede degli schemi da adottare in condizioni di scarsa visibilità, includendo proprio le curve in questa fattispecie. Come riportato in figura 1.47 infatti si prevede l'aggiunta di un mezzo di preavviso, simile a quello adottato in Italia che viene posizionato però ad una distanza di 300m dai mezzi già previsti. Tuttavia, come vedremo nel capitolo 2 questa distanza spesso non è sufficiente a garantire la sicurezza dei conducenti ma sono necessarie analisi più approfondite per chiarire tale problematica. In generale però la distanza tra i mezzi permette già un facile adattamento a tutte le situazioni di visibilità ridotta, come vedremo nel capitolo 2 infatti, posizionando i mezzi a una distanza di 150m si riesce a garantire una sufficiente continuità nella visuale del conducente che percorre la curva, poi come preavviso della presenza di cantiere si posiziona un mezzo aggiuntivo proprio alla fine del rettilineo.

Ultimo aspetto importante è che nel caso dello schema della figura 1.46 per la chiusura

della corsia di sorpasso, la normativa francese prevede che sia presente un unico mezzo di preavviso e che sia posizionato sul margine sinistro della corsia di sorpasso stessa. In Italia invece i due mezzi di preavviso vengono posti sulla corsia di emergenza.

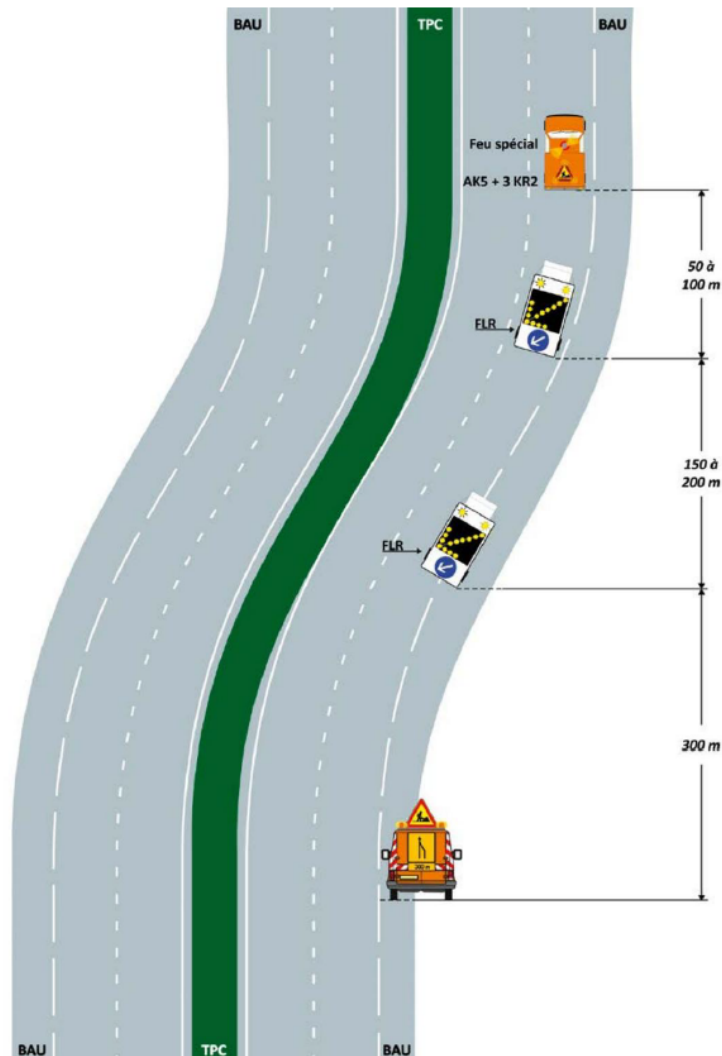


Figura 1.47: Francia - Chiusura della corsia di marcia per un cantiere mobile in condizioni di scarsa visibilità

I cantieri mobili in Germania

Gli schemi adottati in Germania invece sono del tutto simili a quelli utilizzati in Italia se non fosse per la presenza di limitazioni di velocità installate sui mezzi di preavviso. Inoltre, tra il mezzo di preavviso e la chiusura della corsia viene previsto l'inserimento di frecce luminose a intermittenza accompagnate da bande sonore. L'impiego di segnali sonori per un cantiere stradale può rappresentare una valida soluzione in molte situazioni, spesso soprattutto in condizioni di scarsa visibilità si fa fatica a trovare delle alternative agli schemi proposti. Per ragioni pratiche non è sempre possibile aumentare il numero di mezzi per la segnalazione del cantiere, pertanto l'impiego di segnali sonori permette l'utilizzo degli schemi già previsti in rettilineo anche per le situazioni più complicate. Infine anche nella normativa tedesca, così come in Italia i mezzi di preavviso per la chiusura della corsia di

sorpasso vengono posizionati sulla corsia di emergenza sia nel caso di chiusura della corsia di marcia che per quella di sorpasso.

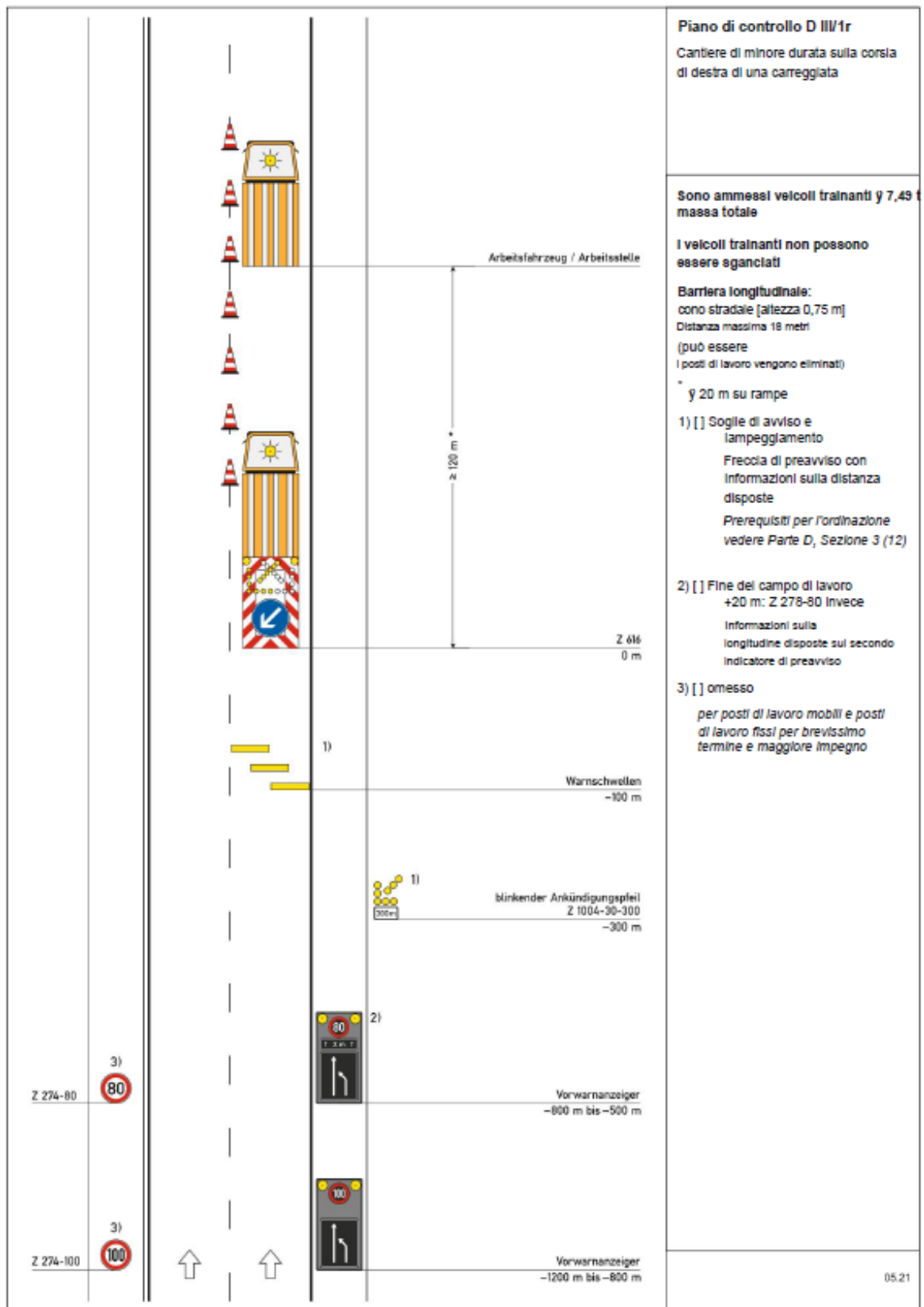


Figura 1.48: Germania - Chiusura della corsia di marcia per un cantiere mobile

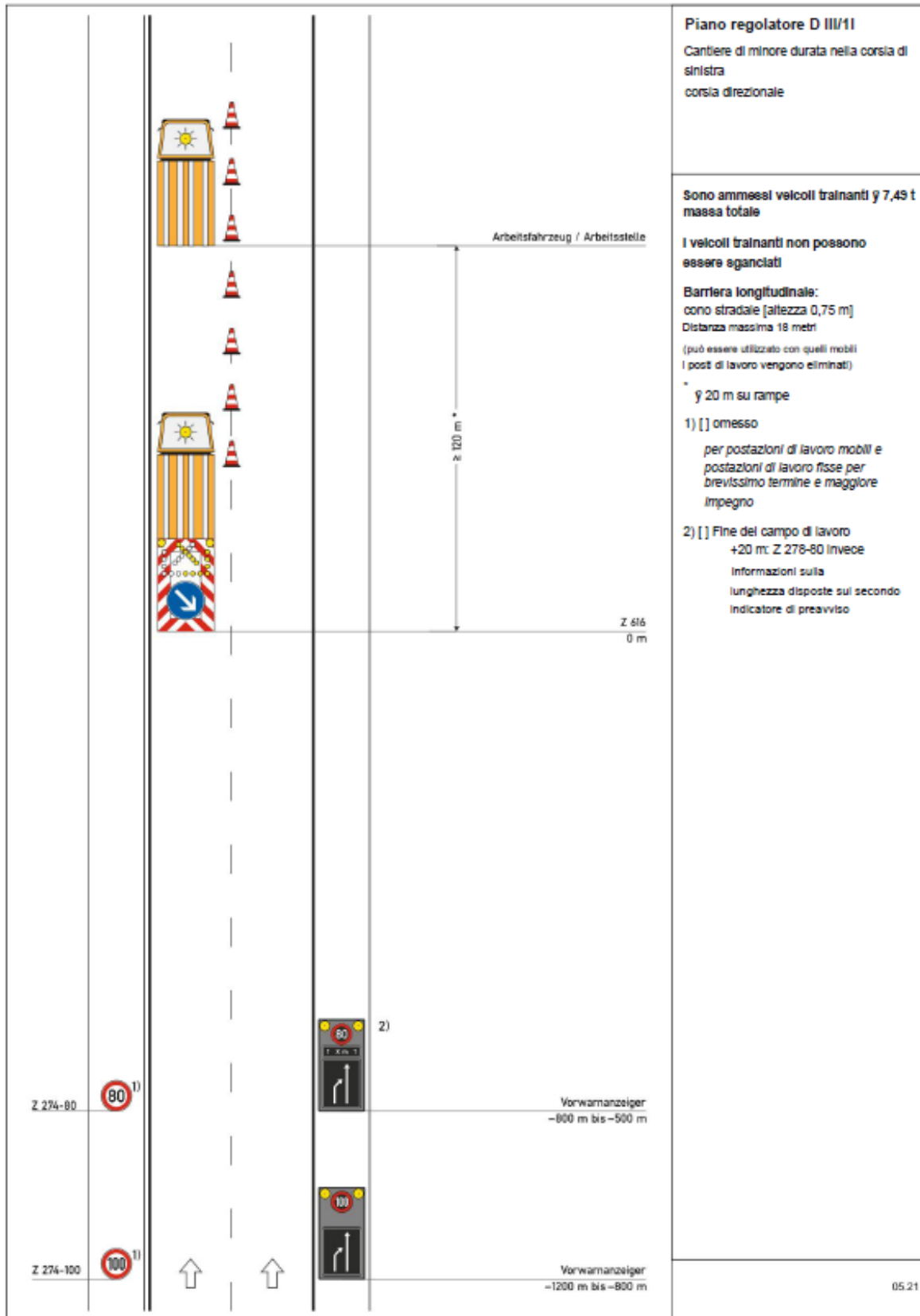


Figura 1.49: Germania - Chiusura della corsia di sorpasso per un cantiere mobile

I cantieri mobili in Spagna

Gli schemi adottati in Spagna sono molto simili a quelli già visti in Francia con la differenza che viene limitata la velocità dei mezzi a 80Km/h e non sono previsti con una protezione dell'area di cantiere. Inoltre, viene posizionato un segnale di "lavori in corso" a 2Km di distanza dal mezzo che chiude la corsia. In tutti i casi poi la distanza tra il mezzo di preavviso e quello di chiusura della corsia si deve mantenere intorno ai 150m il che rende questo schema facilmente adattabile anche alle situazioni di scarsa visibilità. Inoltre, così come avviene in Francia, l'unico mezzo di preavviso per la chiusura della corsia di sorpasso viene posizionato sulla stessa corsia e non su quella di emergenza come in Italia e Germania.

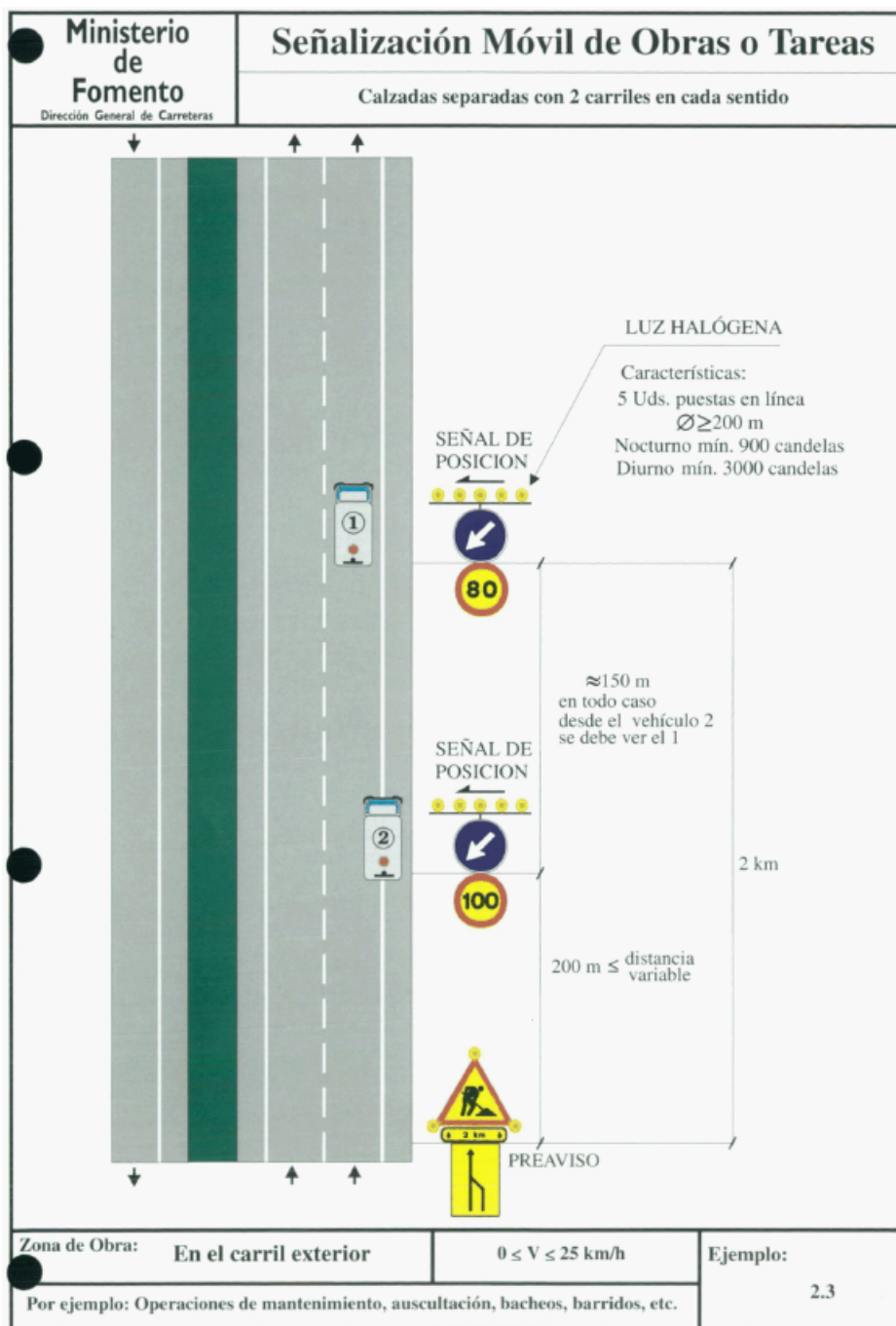


Figura 1.50: Spagna - Chiusura della corsia di marcia per un cantiere mobile

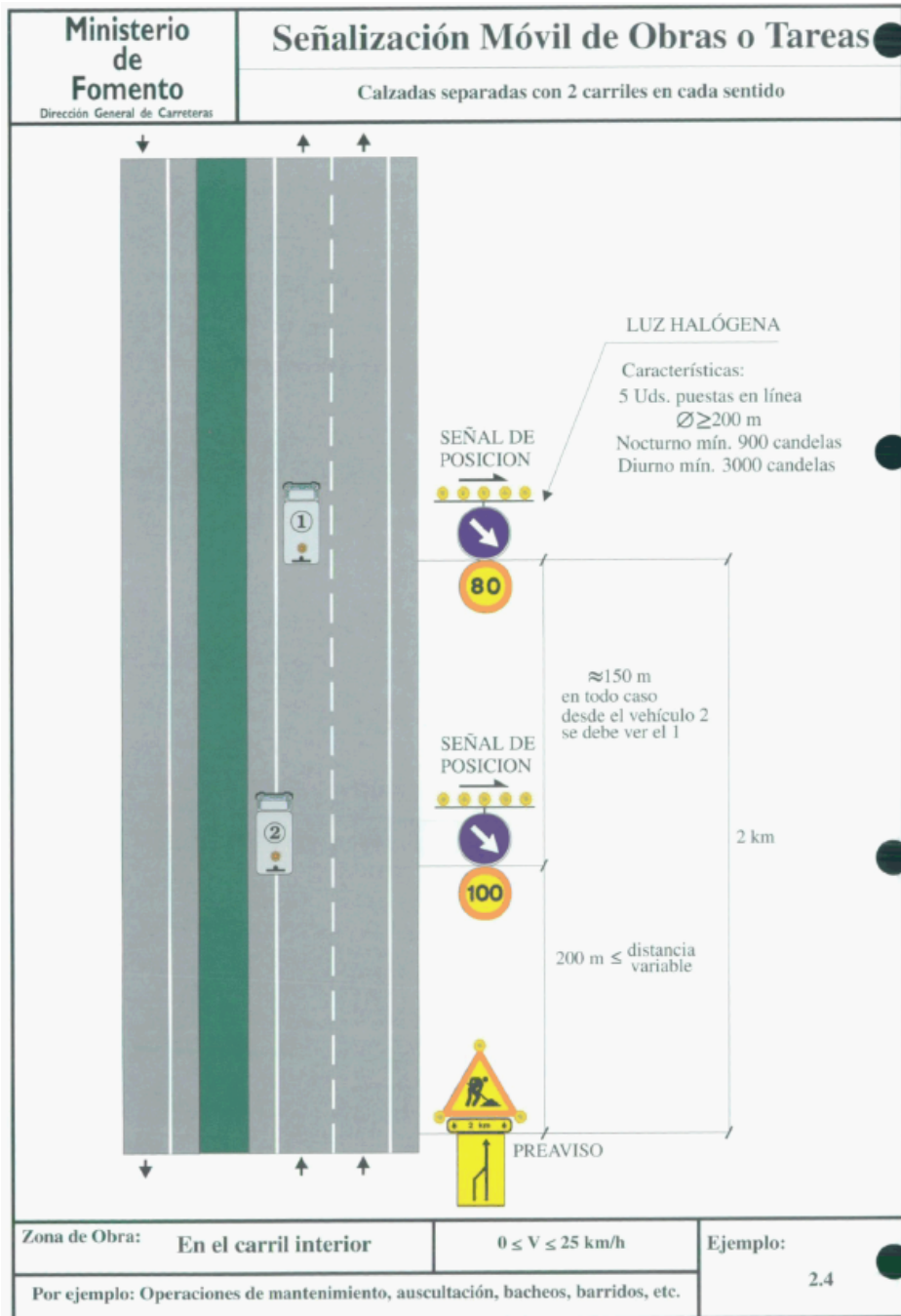


Figura 1.51: Spagna - Chiusura della corsia di sorpasso per un cantiere mobile

Analisi della visibilità in curva dei cantieri mobili

La pianificazione e l'esecuzione dei cantieri autostradali richiedono un'attenta valutazione della segnaletica stradale al fine di garantire la sicurezza sia dei lavoratori che degli utenti della strada. Dal confronto tra il D.M. 10 luglio 2002 [2] con il regolamento interno Tecne S.p.A. - ASPI [3] è emerso un vuoto normativo che riguarda le situazioni in cui il cantiere autostradale, che sia fisso o mobile, si trova nei pressi di una curva o dosso che ne ostacola la perfetta visibilità ai guidatori. Nonostante i numerosi schemi segnaletici che regolano le diverse situazioni, finora non si è mai fatto specifico riferimento ai cantieri autostradali in condizioni di scarsa visibilità dovuta a una curva. Pertanto, è fondamentale condurre un'analisi dettagliata al fine di definire delle contromisure o delle modifiche agli schemi esistenti in modo tale da garantire al guidatore una perfetta visuale del segnale che per necessità geografica deve essere posizionato lungo una curva.

2.1 Riferimenti normativi vigenti

Prima di entrare nel dettaglio dell'analisi che è stata condotta è importante valutare l'effettiva efficacia delle disposizioni della normativa vigente. Il riferimento normativo nei riguardi dei cantieri in autostrada è Il Decreto Ministeriale del 2002 che al capitolo 5 - "POSIZIONAMENTO DEI SEGNALI" fornisce delle indicazioni su tale eventualità, distinguendo anche in funzione della tipologia di strada e prevede:

“Per i cantieri importanti, o con collocazione di difficile avvistamento, la segnaletica di avvicinamento può essere preceduta da una (nelle strade a doppio senso di circolazione) o due (nelle strade a carreggiate separate) lanterne a luce gialla lampeggiante di grande diametro (minimo 30 cm) in previsione di possibile formazione di coda, modulandone la distanza dal primo segnale in funzione della prevedibile entità della coda stessa. Per tali dispositivi si suggeriscono le seguenti distanze minime di impianto:

- 250m prima del segnale “lavori” sulle strade a doppio senso di circolazione e nelle strade urbane di scorrimento;
- 750m prima del segnale “lavori” sulle strade di tipo A e B con due corsie per senso di marcia;
- 1000m prima del segnale “lavori” sulle strade di tipo A e B con tre o più corsie per senso di marcia.

In corrispondenza delle lanterne deve essere collocato anche un segnale “lavori” corredato di pannello integrativo di distanza dal cantiere. In questo caso non è necessaria la lanterna a luce rossa fissa in

abbinamento. L'inizio della segnaletica di posizione corrisponde all'inizio della zona di deviazione o, in assenza di tale zona, alla barriera frontale."



Figura 2.1: Segnale Lavori e luce lampeggiante (D=30cm)

Il D.M. 10/07/2002 [2] quindi non entra particolarmente nel dettaglio sulla presenza di una curva ma fa riferimento a dei cantieri di difficile avvistamento. Le disposizioni fornite sono uniche per ogni tipo di cantiere e non si adattano facilmente a tante situazioni che possono nascere nella regolare gestione della rete. Non viene fatta alcuna distinzione tra cantieri fissi o mobili ma è un'indicazione che aggiunge ulteriori segnali al comparto già previsto senza migliorare la visibilità di quelli già presenti. Simili valutazioni possono essere fatte invece di un'ulteriore disposizione presente all'interno del documento al capitolo 10.2 "Regole di messa in opera della segnaletica" nel quale, riferendosi ai segnali di preavviso e chiusura della corsia si richiede:

"I due segnali si spostano in maniera coordinata all'avanzamento dei lavori in modo che entrambi siano comunque separatamente visibili da almeno 300 metri. In caso non sia possibile garantire tali distanze di avvistamento occorrerà impiegare un ulteriore segnale mobile di preavviso in posizione intermedia."

Tale disposizione però, come la precedente, aumenta il comparto segnaletico solo nelle circostanze di scarsa visibilità ma in un cantiere mobile sono situazioni che si possono verificare in casi eccezionali. I segnali di preavviso vengono posizionati al di sopra di mezzi indipendenti, che siano autocarri o carrelli trainati, risulta pertanto una disposizione complicata da adottare in termini operativi poichè, ai fini di una manutenzione efficiente, risulta scomodo impiegare un mezzo aggiuntivo solo per poche curve incontrate nell'arco della lavorazione mentre per tutti i rettilinei o le curve a raggio maggiore diventa superfluo.

2.1.1 I Pannelli a messaggio variabile

Per quando riguarda invece il "Disciplinare per l'installazione, conduzione e rimozione dei cantieri di lavoro" [3], il regolamento interno adottato da tutte le aziende incaricate di realizzare un cantiere nella rete gestita da Autostrade per l'Italia, non esiste una disposizione specifica per i cantieri in condizioni di scarsa visibilità. In ogni caso però il regolamento prevede, in aggiunta alla normale testata adottata in funzione della tipologia di cantiere, l'impiego dei pannelli a messaggio variabile (Fig. 2.2) in modo da presegnalare agli utenti l'imminente arrivo in una zona interessata da cantiere o in fase di allestimento. È previsto infatti per i cantieri fissi la segnalazione anche della fase di posa o rimozione dei segnali con appositi messaggi in funzione della fase del cantiere.

L'aggiornamento dei Pannelli a messaggio variabile in funzione della posizione del cantiere mobile avviene mediante l'impiego di dispositivi GPS che vengono installati sul primo mezzo



Figura 2.2: Esempi di pannello a messaggio variabile

di preavviso. Il responsabile del cantiere, tra i vari compiti a lui assegnati, ha anche l'obbligo di comunicare alla Direzione di Tronco le fasi di:

- Ingresso in autostrada degli operatori adetti alla manutenzione;
- Attivazione del punto previsto;
- Il termine delle attività di manutenzione.

Nel caso in cui si verificano anomalie o disfunzioni nei dispositivi GPS assegnati, il Responsabile del cantiere dell'azienda è tenuto a contattare con anticipo il Responsabile Tecnico del contratto. Se questi concederà l'autorizzazione a procedere con l'esecuzione dei lavori nonostante tali problematiche, il Responsabile dovrà comunicare tempestivamente al Centro Radio Informativo della Direzione di Tronco tutte le variazioni rilevanti mediante comunicazione telefonica.

Questa soluzione non è impiegata solo in condizioni di scarsa visibilità ma è prevista per un qualunque tipo di cantiere. I pannelli a messaggio variabile sono fissi e sparsi lungo la rete autostradale e se in alcune circostanze può capitare che siano posizionati poco prima di una curva, in tante altre ciò non è garantito. Molto spesso possono trovarsi anche a chilometri di distanza dall'inizio del cantiere e seppur forniscono la posizione esatta dello stesso non garantiscono la sicurezza che il guidatore mantenga l'attenzione fino all'arrivo nella zona interessata. Un altro aspetto che bisogna sottolineare è quello che tali pannelli segnalano la posizione del cantiere riferendosi al chilometro della strada e non indicando la distanza tra il pannello e il cantiere che il conducente incontrerà. Tale tipo di indicazione può risultare scomoda ai conducenti poichè devono prestare attenzione ai "Segnali di progressiva chilometrica" (Fig. 2.3) che vengono posti ai margini della carreggiata e che spesso risultano di difficile lettura soprattutto se si viaggia alle velocità massime consentite nella rete autostradale. Spesso inoltre sono assenti o danneggiati e pertanto si può avere difficoltà nell'individuare l'imminente arrivo nella zona di cantiere.



Figura 2.3: Segnale di progressiva chilometrica

Appare evidente che in assenza di specifiche ben definite dal D.M. 10/07/2002 [2], il regolamento Tecne S.p.A. [3] e chi di competenza abbia cercato soluzioni alternative che meglio possano adattarsi al comparto organizzativo già presente nella rete autostradale, sarebbe necessario in definitiva condurre uno studio più approfondito del problema e valutare possibili soluzioni che meglio si adattino a tutte le possibilità.

Una proposta interessante potrebbe essere quella di utilizzare dei pannelli a messaggio variabile temporanei, costituiti da un carrello trainabile sul quale è installato sia il pannello a messaggio variabile di dimensioni ridotte che un segnale di passaggio obbligato (Fig. 2.4). La particolarità di questo genere di dispositivi è quella di essere facilmente trasportabili mediante i mezzi già utilizzati per il trasporto degli operai e della segnaletica da impiegare per l'installazione del cantiere e di essere facilmente mobile ad esempio nel caso di cantieri mobili sia in lento movimento che in avanzamento. Un altro problema facilmente risolvibile con dispositivi di questo tipo è quello dei cantieri in assenza di corsia di emergenza per il posizionamento dei mezzi per una più facile individuazione del cantiere agli occhi dei conducenti che percorrono la strada.



Figura 2.4: Pannelli a messaggio variabile temporanei - Sisas Spa

Nella figura 2.4 è stato estratto un possibile modello di pannello a messaggio variabile trovato sul sito del produttore www.sisas.it ma ovviamente la ricerca potrebbe essere approfondita andando a trovare dei dispositivi che meglio si adattano alle esigenze dell'azienda Tecne S.p.A. Le dimensioni del suddetto dispositivo sono infatti di 284 cm di larghezza e di 220cm di lunghezza e pertanto non impiegabili nei casi di corsia di emergenza assente o di dimensioni ridotte di cui al paragrafo 1.3.5.

Un'alternativa al carrello trainabile potrebbe essere quella del pannello a messaggio variabile trasportabile da un operatore, l'immagine riportata (Fig. 2.5) è stata estratta dal sito di un produttore (Sfhera srl) ma ovviamente ci sono varie alternative. La proposta in esame deve essere comunque studiata nel dettaglio per capire se si adatta bene a tutte le procedure

già adottate per l'allestimento di un cantiere.



Figura 2.5: Pannelli a messaggio variabile temporanei - Sphera srl

2.2 Progettazione di una curva

La valutazione delle distanze di visibilità nella progettazione di una curva è di primaria importanza. In Italia in questo ambito bisogna fare riferimento al Decreto Ministeriale del 5 Novembre 2001 - "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" [14]. Emanato per definire le procedure e i criteri per la progettazione degli elementi geometrici delle strade in relazione alla loro classificazione secondo il codice della strada. Per l'analisi che è stata condotta si è scelto di costruire dei modelli di curve che prima di tutto rispettino i requisiti minimi richiesti da tale Decreto ma che abbiano soprattutto i parametri geometrici minimi imposti dalla normativa (R_{min} , A) in modo tale da analizzare la visibilità nelle condizioni più sfavorevoli. In tal senso è utile fare una breve panoramica su tutti gli aspetti fondamentali che devono essere verificati nella progettazione in generale di una curva e da questi trarne le informazioni necessarie all'analisi.

2.2.1 Distanze di visibilità

La verifica delle visuali libere rappresenta un obbligo fondamentale nella progettazione di un tratto stradale. Per Visuale libera (VL) si intende la porzione di strada visibile davanti all'automobilista senza considerare fattori come il flusso veicolare, le condizioni meteorologiche e l'illuminazione del tratto considerato. Lungo l'intero tracciato tale distanza deve essere confrontata con una serie di distanze valutate sperimentalmente che definiscono le manovre più comuni che il conducente esegue nella normale circolazione stradale:

- Distanza di visibilità per l'arresto: È necessaria per qualunque tipologia di strada ed è definita come "lo spazio minimo necessario perchè un conducente possa arrestare il veicolo in sicurezza d'avanti a un'ostacolo imprevisto" [14]. Ci sono due strade per il calcolo della distanza di arresto, seguendo un'analisi semplificata si può fare riferimento a degli abachi proposti dal D.M. 5/11/2001 [14] in funzione della categoria stradale (Fig. 2.6), in alternativa si può seguire il procedimento proposto all'interno del Vol.1 del libro "Costruzioni stradali: Teoria e tecnica delle costruzioni stradali" di F. Santagata [15]. Di

seguito nel presente elaborato si entrerà nel dettaglio approfondendo questa seconda possibilità.

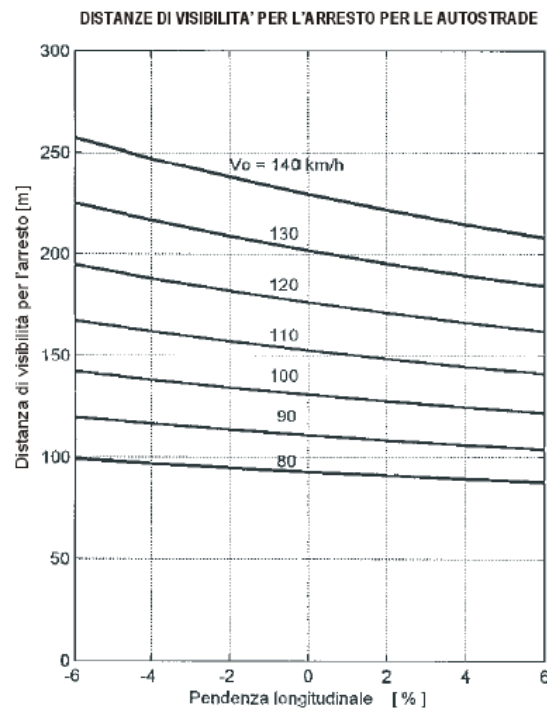


Figura 2.6: Abaco per la valutazione della Distanza di arresto - D.M. 5/11/01 [14]

- Distanza di visibilità per il sorpasso: Necessaria solo per le strade extraurbane ad un'unica carreggiata e doppio senso di circolazione. Le autostrade sono ovviamente escluse;

$$D_s = 20 * v = 5,5 * V \quad (2.1)$$

(v [m/s] ; V [km/h])

- Distanza di visibilità per la manovra di cambio corsia: Viene valutata nelle strade con almeno 2 corsie per senso di marcia ed è definita come la distanza necessaria per il passaggio da una corsia a quella adiacente nella manovra di deviazione in corrispondenza di punti singolari.

$$D_c = 9,5 * v = 2,6 * V \quad (2.2)$$

Non è importante entrare nel dettaglio in questa sede calcolando le distanze di visibilità in funzione della velocità di progetto ma è necessario tenerle a mente nel corso dell'analisi che deve essere condotta poichè qualunque modifica agli schemi segnaletici che verrà proposta deve comunque rispettare questi requisiti per garantire la massima sicurezza ai conducenti.

2.2.2 Curve circolari

Una curva circolare per essere percepita dal conducente deve avere uno sviluppo tale per cui la percorrenza della stessa sia di almeno 2,5s valutata con la velocità di progetto. Inoltre, in curva la carreggiata è inclinata di un certo angolo per tutto lo sviluppo per garantire l'equilibrio del veicolo in percorrenza. La pendenza massima vale 7% (q=0,07) nel caso di

autostrade. Esiste una relazione che lega la velocità di progetto (Vp) con il raggio di curvatura, la pendenza trasversale e il coefficiente di aderenza trasversale:

$$\frac{Vp^2}{(R * 127)} = q + ft \quad (2.3)$$

Vp = velocità di progetto della curva [km/h]

R = raggio della curva [m]

q = $\frac{ic}{100}$

ft = quota parte del coeff. di aderenza impegnato trasversalmente

Per quanto riguarda il coefficiente di aderenza trasversale si fa riferimento alla tabella riportata di seguito (Fig. 2.7):

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

Figura 2.7: Coefficiente di aderenza trasversale

Per velocità intermedie fra quelle indicate si provvede all'interpolazione lineare.

Anche in questo caso sono stati realizzati degli abachi esemplificativi che permettono in funzione della velocità e della pendenza trasversale, di determinare il raggio minimo per garantire l'equilibrio del veicolo (Fig. 2.8)

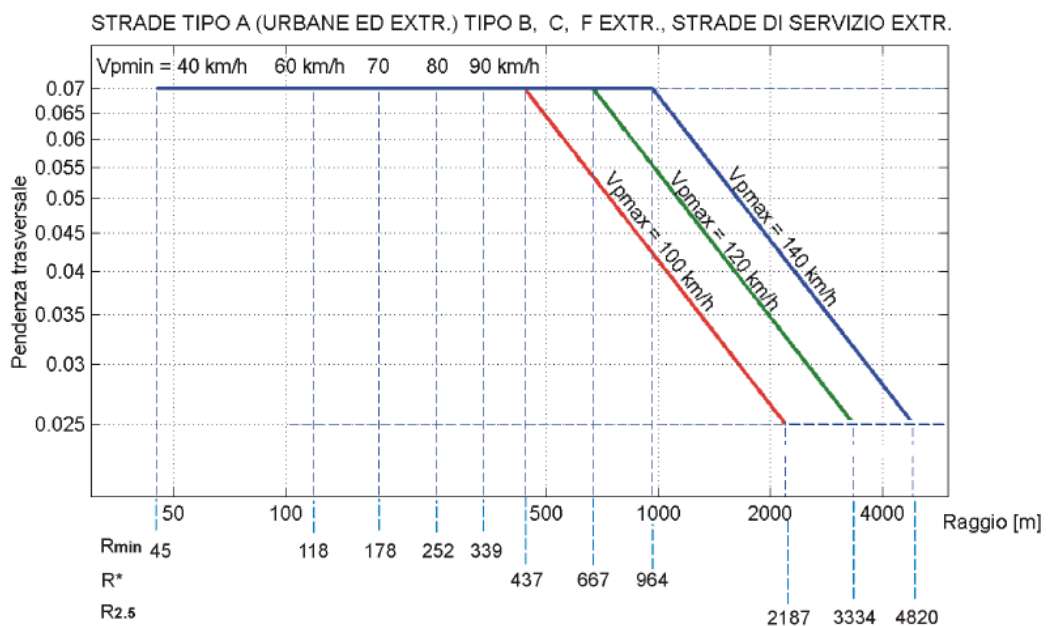


Figura 2.8: Raggio minimo della curva

La determinazione dei valori del raggio e della velocità nelle curve basata sull'equilibrio del veicolo non è sufficiente per garantire la sicurezza. È importante anche verificare se i valori calcolati siano adeguati attraverso la valutazione della visuale libera per le manovre previste nei paragrafi precedenti. Questa verifica potrebbe portare a una necessaria revisione

dei valori calcolati, o potrebbe richiedere un aumento dei margini laterali di sicurezza come spesso accade durante la progettazione delle curve attraverso l'aumento della larghezza della carreggiata. Questa considerazione è particolarmente importante nelle curve sinistrorse, dove potrebbero essere presenti ostacoli come siepi anabbaglianti o dispositivi di ritenuta, così come nelle gallerie.

2.2.3 Curve a raggio variabile

Le curve a raggio variabile sono un elemento di fondamentale importanza nell'ingresso in curva poichè permettono la graduale variazione della pendenza trasversale della carreggiata che passa dal 2,5% in rettilineo (per il corretto deflusso dell'acqua) alla pendenza massima lungo la curva a raggio costante che può arrivare ad un massimo del 7%. Queste curve sono progettate per garantire:

- Variazione di accelerazione centrifuga non compensata (contraccolpo) entro valori accettabili;
- Limitazione della pendenza longitudinale delle linee di estremità della piattaforma;
- Percezione ottica corretta del tracciato

La curva a raggio variabile da impiegarsi è la clotoide, che è una particolare curva della famiglia delle spirali generalizzate definite dalla seguente equazione:

$$r * s^n = A^{n+1} \quad (2.4)$$

dove per $n=1$ si ottiene l'equazione della clotoide

$$r * s = A^2 \quad (2.5)$$

r : raggio di curvatura nel punto P generico [m];

s : ascissa curvilinea nel punto P generico [m];

A : parametro di scala

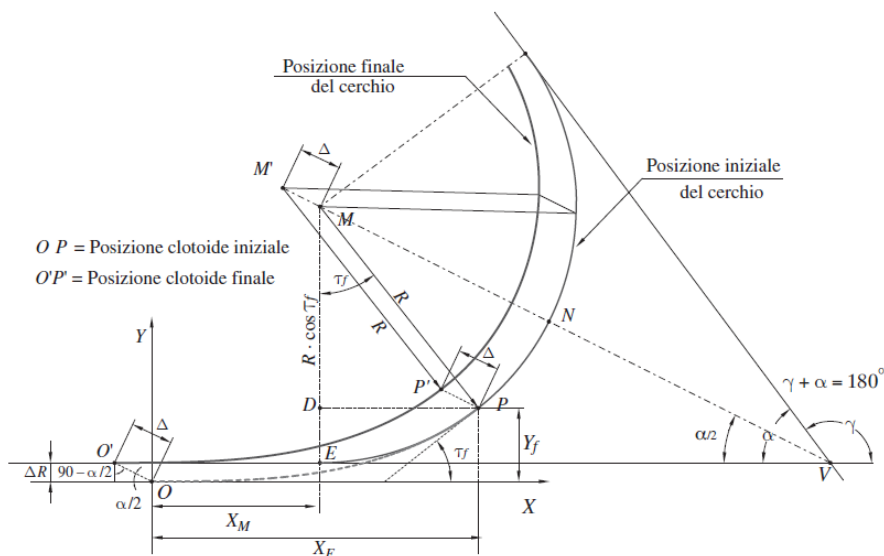


Figura 2.9: Curva a raggio variabile - Clotoide

L'immagine (Fig. 2.9) è stata estratta dall'appendice A del libro "Costruzioni stradali - Aspetti progettuali e costruttivi" di Giulio Dondi ([16]).

Dopo aver fissato il raggio di curvatura del tratto di curva a raggio costante è necessario progettare le clotoidi di ingresso e di uscita dalla curva. Il parametro che regola la progettazione delle clotoidi è il parametro di scala (A) sul quale la normativa impone tre diversi criteri da rispettare:

- Limitazione del contraccolpo: Per garantire che la clotoide presenti una variazione graduale dell'accelerazione trasversale non compensata nel tempo, è essenziale condurre un'analisi del parametro A in relazione alla velocità di progetto dedotta dal diagramma delle velocità. Semplificando la formulazione e concentrandoci sull'aspetto del contraccolpo con il suo valore limite, si può ottenere il seguente risultato:

$$A_{min,1} \geq 0,021 * Vp^2 \quad (2.6)$$

- Sovrapendenza longitudinale delle linee di estremità della carreggiata: nelle sezioni di estremità di un arco di clotoide, la carreggiata stradale presenta diverse inclinazioni trasversali che devono essere gradualmente armonizzate lungo la sua lunghezza. Questo comporta l'introduzione di una sovrappendenza nelle linee di estremità della carreggiata rispetto alla pendenza dell'asse di rotazione.

Quando il raggio iniziale della curva è infinito (ad esempio, in una rettilineo o in un punto di flesso), il parametro deve soddisfare la seguente disequazione:

$$A \geq A_{min,2} = \sqrt{\frac{R}{\Delta i_{max}} \cdot 100 \cdot B_i \cdot (q_i + q_f)} \quad (2.7)$$

Dove:

R = raggio della curva [m];

qi: $\frac{ici}{100}$ con ici pendenza trasversale iniziale in valore assoluto;

qf: $\frac{icf}{100}$ con icf pendenza trasversale finale in valore assoluto;

B_i : distanza fra l'asse di rotazione e il ciglio della carreggiata nella sezione iniziale della curva a raggio variabile [m];

Δi_{max} : sovrappendenza longitudinale massima della linea costituita dai punti che distano B_i dall'asse di rotazione:

$$\Delta i_{max} = \frac{18 * B_i}{V} \quad (2.8)$$

- Corretta percezione ottica del tracciato:

$$A \geq \frac{R}{3} \quad (2.9)$$

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

$$A \leq R \quad (2.10)$$

In definitiva si stabilisce il valore di A in modo tale che risulti:

$$A \geq A_{min} = \min(A_{min,1}; A_{min,2}) \quad (2.11)$$

e verificando inoltre che:

$$\frac{R}{3} \leq A \leq R \quad (2.12)$$

In definitiva è possibile riportare un diagramma conclusivo (Fig. 2.10) che racchiude tutte le verifiche analizzate fin'ora e che mostra i vari range accettabili in termini di raggio della curva (R) e parametro di scala della clotoide (A):

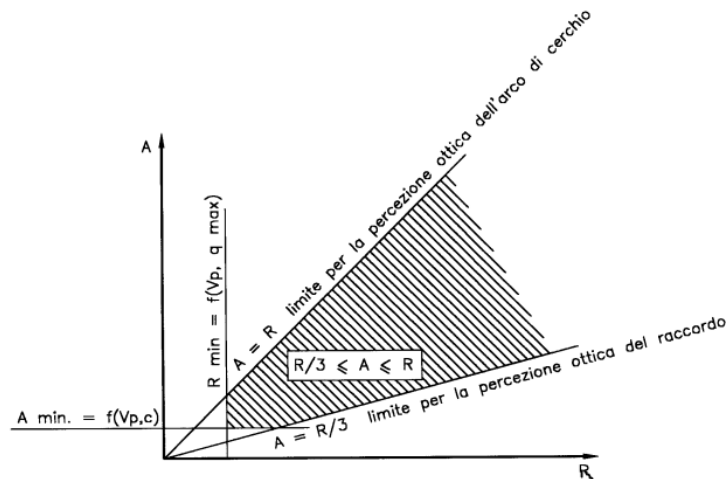


Figura 2.10: Campo di utilizzazione dei raccordi di clotoide

2.3 Analisi della visibilità planimetrica di un cantiere mobile

2.3.1 La sede stradale

Una volta aver condotto uno studio approfondito di tutti gli aspetti cruciali nella progettazione di una curva è possibile procedere nell'analisi andando a verificare se nelle lavorazioni che si effettuano sulla rete autostradale viene garantita sempre la corretta visibilità necessaria al conducente di guidare in sicurezza e ai lavoratori di svolgere le proprie mansioni. Prima di tutto è necessario definire le caratteristiche della sede stradale che sarà interessata dalla lavorazione che si vuole simulare in questa sede. Per queste valutazioni si è scelto di considerare una autostrada extraurbana di categoria A1 a due corsie per senso di marcia di cui si riporta nella figura 2.11 la sezione trasversale.

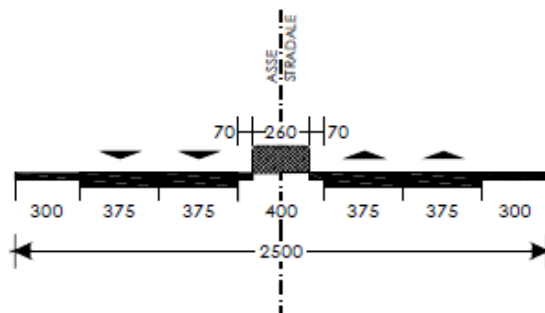


Figura 2.11: Sezione trasversale della sede stradale

2.3.2 Schema segnaletico adottato

Nell'analisi della visibilità d'ora in avanti ci riferiremo agli schemi segnaletici proposti dal Regolamento ASPI [3] che in ogni caso si attengono agli stessi forniti dal D.M. 10 luglio 2002 [2]. Si riportano di seguito i casi di chiusura della corsia di marcia (Fig. 2.12) e di sorpasso (Fig. 2.13). Nel caso di cantiere mobile gli schemi sono pressochè molto simili, si è scelto di riportare questi due come esempio ma l'unico parametro importante da tenere in considerazione è la distanza tra i vari segnali. Il comparto segnaletico previsto per questi casi si compone di un segnale di preavviso chiusura della corsia e di uno di effettiva chiusura, per lavori sulla corsia di emergenza e di marcia, posti entrambi su autocarri che si muovono coordinatamente durante le fasi operative. Mentre per lavori sulla corsia di sorpasso vengono raddoppiati a due segnali di preavviso e rimane invariato a uno il segnale di chiusura della corsia. Ovviamente il mezzo sul quale viene posto il segnale di chiusura corsia viene fornito di appositi sistemi antiurto in modo tale da arrestare gradualmente il veicolo di un eventuale conducente distratto che va ad impattare col mezzo. È interessante notare in questi schemi come lo spazio previsto tra il segnale che preavvisa la chiusura della corsia e il mezzo che effettivamente la chiude e che funge da protezione sia di 500m. Si tratta ovviamente di una distanza indicativa e che in fase operativa è di difficile valutazione ma resta comunque un'indicazione che viene riportata e che necessita di opportune valutazioni. Sia nel D.M. 10/07/2002 [2] che nel regolamento Tecne - ASPI [3] infatti, come già preannunciato, tutti gli schemi proposti non fanno alcuna valutazione nei riguardi della possibilità che il cantiere nel suo sviluppo possa intercettare curve a raggio ristretto che possano dare problemi di visibilità ai conducenti. Tutte le casistiche proposte infatti sono rappresentate in rettilineo ma come vedremo questo non garantisce sufficiente sicurezza sia per i conducenti che per i lavoratori.

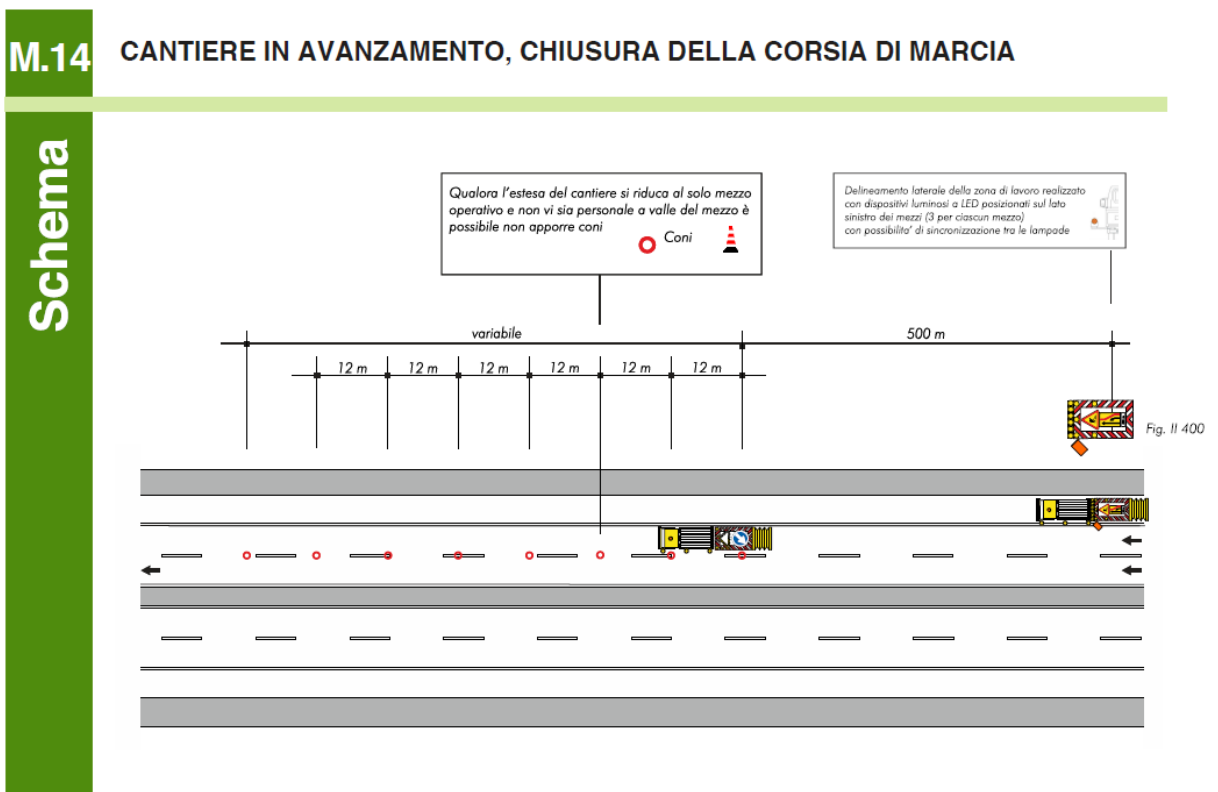
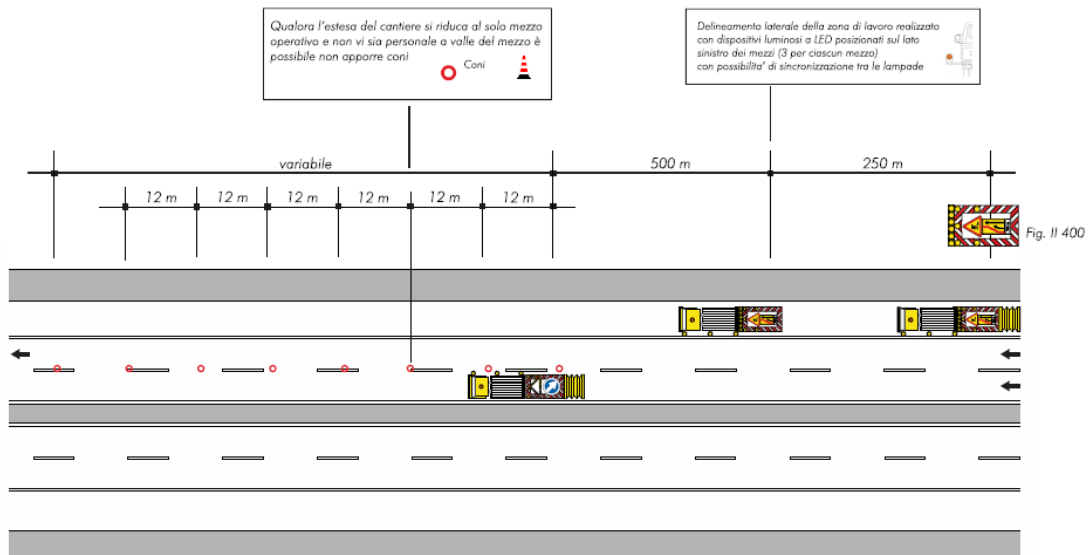


Figura 2.12: Cantiere Mobile - Chiusura della corsia di marcia [3]

M.16 CANTIERE IN AVANZAMENTO, CHIUSURA DELLA CORSIA DI SORPASSO
Schema

Figura 2.13: Cantiere Mobile - Chiusura della corsia di sorpasso [3]

Se infatti provassimo a visualizzare in una curva di esempio una possibile configurazione dello schema segnaletico è facile accorgersi che per un conducente che viaggia sulla corsia di marcia e che vede il primo cartello di chiusura della corsia non sia poi possibile andare a individuare l'effettiva chiusura della stessa che inevitabilmente si trova al di fuori del campo visivo (Fig. 2.14). Come evidenziato dalla linea verde la visuale del conducente dovrebbe non solo oltrepassare le barriere poste a separazione delle due carreggiate chiamate "New Jersey" ma anche le eventuali barriere anti-rumore (Fig. 2.15) laterali poste a margine della carreggiata nei tratti abitati. Oltre a queste è possibile in alcuni casi trovare delle barriere anti-caduta (Fig. 2.16) posizionate nei casi in cui la carreggiata sia rialzata dal suolo come ad esempio nei ponti o viadotti. Nello schema rappresentato il comparto segnaletico è stato posto nel punto in cui inizia la curva a raggio costante disegnata in rosso, questo poichè come spiegato approfonditamente in seguito rappresenta la parte della curva che permette una visuale minore. Le clotoidi infatti, avendo un raggio variabile, presentano tratti come quelli prossimi alla curva che hanno un raggio simile a quello della curva stessa, mentre altri come il tratto che si collega al rettilineo che hanno raggi elevati e permettono una visuale notevolmente maggiore. All'interno del tratto di curva a raggio costante poi è indifferente la posizione del comparto segnaletico, purchè ovviamente ricada tutto all'interno della stessa come avviene nell'esempio riportato. Non è importante in questa fase riportare i parametri geometrici della curva o definire lo schema segnaletico adottato poichè si vuole solamente evidenziare come il problema di non avere una sufficiente visibilità potrebbe portare il conducente a compiere delle manovre errate. Si entrerà poi successivamente nel dettaglio di tutti questi aspetti per ora semplicemente nominati.

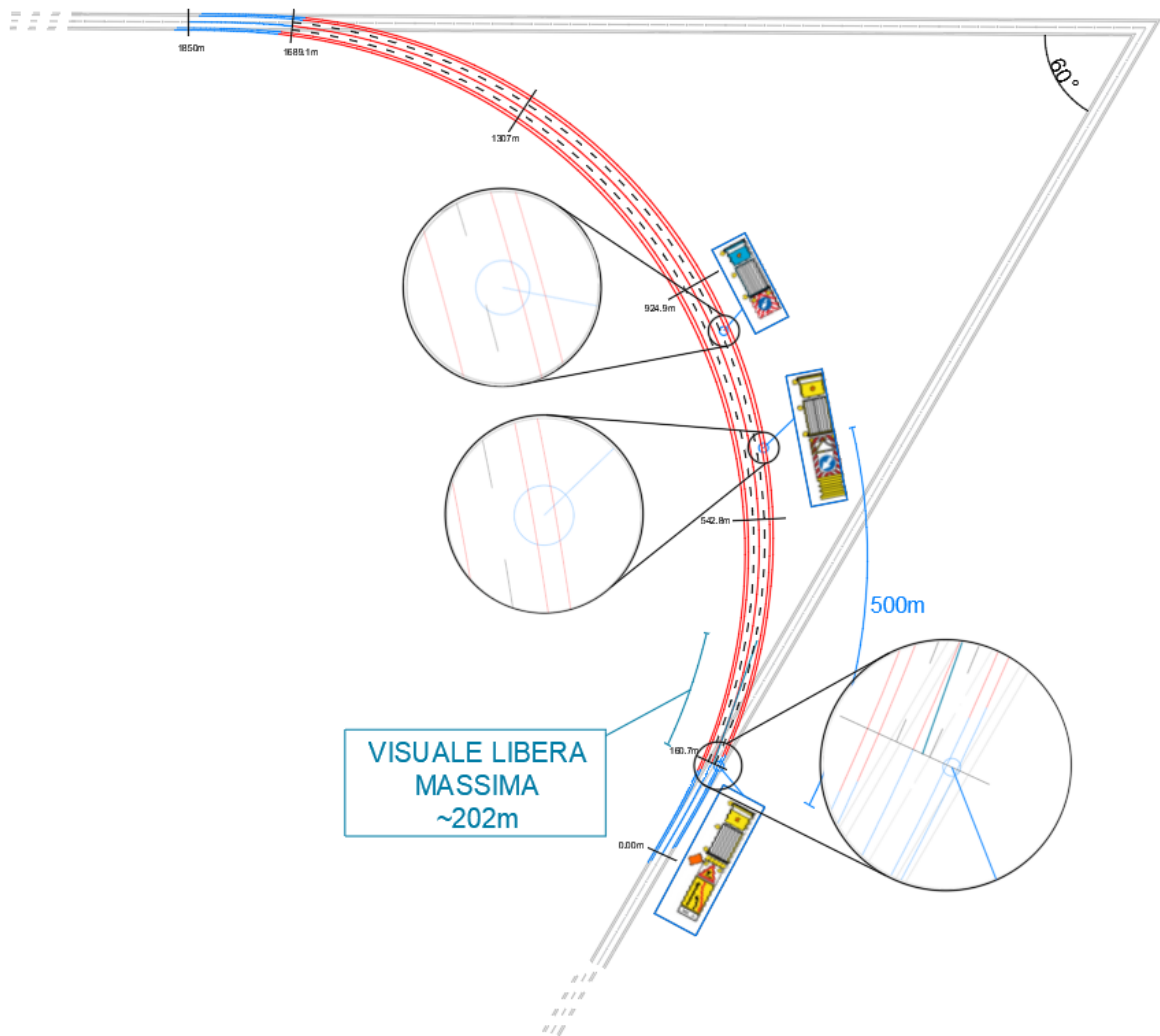


Figura 2.14: Chiusura della corsia di marcia in curva sinistrorsa



Figura 2.15: Barriere antirumore



Figura 2.16: Barriere anticaduta

2.3.3 Parametri geometrici

È evidente a questo punto che in fase di pianificazione del cantiere sia necessario andare a studiare il percorso interessato dalla manutenzione e per ogni curva incontrata valutarne la visibilità per il conducente in tutte le situazioni possibili. Che si tratti di una curva destrorsa o sinistrorsa, che il conducente viaggi sulla corsia di destra o sinistra e se la corsia da chiudere sia quella di marcia o di sorpasso. Il rischio che si corre infatti è che un conducente che incontra il segnale di preavviso per chiusura della corsia, non riuscendo a vedere dove effettivamente questa viene chiusa, possa trovarsi in difficoltà nel prendere la decisione di spostarsi sulla corsia di accelerazione. Un'altra possibilità è che un conducente distratto possa ritornare nuovamente sulla corsia di marcia pur avendo già rispettato l'indicazione di cambiare la corsia. A tal proposito allora in questa analisi si è deciso di valutare concretamente questi aspetti e di creare una serie di modelli in cui si sono fatti variare i parametri geometrici della curva quali:

- α : Angolo compreso tra i due rettifili:
 - 60°;
 - 70°;
 - 80°;
 - 90°;
- Raggio di curvatura;
- Velocità;
- Curva destrorsa o sinistrorsa;
- Possibilità del conducente di vedere al di sopra dei New Jersey che separano le due carreggiate.

Su quest'ultimo punto verrà approfondita ulteriormente la visibilità per capire in quali situazioni sia possibile assumere tale possibilità.

In prima battuta sono state costruite le curve con i parametri geometrici riportati con la precisazione però che sono stati adottati valori limite che in ogni caso garantiscano l'equilibrio del veicolo e il rispetto della Normativa Italiana. In vari tratti autostradali infatti può capitare

di imbattersi in curve che per ragioni di sicurezza vengono limitate alla velocità di 90 km/h o che hanno un angolo tra i rettifili molto ristretto. Pertanto vale la pena soffermarci su questi aspetti per fornire uno strumento di valutazione e uno spunto di riflessione per chi deve allestire il cantiere che interessa proprio curve di questo tipo. Si riporta a titolo di esempio il calcolo del raggio minimo per una velocità di progetto di 90 Km/h e per una pendenza trasversale della corsia del 7%, utilizzando la (2.3):

CURVA				
V [Km/h]	90		Rmin [m]	339
q [-]	0,07		α [°]	60
ft [-]	0,12		α [RAD]	1,047198

Velocità km/h	25	40	60	80	100	120	140
aderenza trasv. max imp. f_{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

Il raggio minimo è indipendente dall'angolo α , inoltre la pendenza trasversale della sezione in curva è stata presa con il suo valore limite per le autostrade e mantenuta uguale per tutte le configurazioni proposte. Sarà sufficiente pertanto ricavare il raggio minimo per le diverse velocità e costruire le curve al variare dell'angolo tra i rettifili. Applicando questi parametri si possono ricavare infine i raggi minimi in funzione delle velocità considerate:

- V=90 Km/h -> $R_{min,90} = 339,0$ m
- V=100 Km/h -> $R_{min,100} = 437,4$ m
- V=130 Km/h -> $R_{min,130} = 806,5$ m

Una volta che abbiamo definito i raggi da adottare nelle diverse configurazioni possiamo calcolare il parametro di scala della clotoide che dovrà rispettare i tre criteri visti nel paragrafo precedente, utilizzando le formule (2.6), (2.7), (2.9) e (2.10). Si riporta come esempio il calcolo relativo allo schema precedente:

CLOTOIDE			
1) Contraccollo	$A_{min,1}$	170,1	
2) Sovrapendenza longitudinale	$A_{min,2}$	126,273	
Δ_{max}			1,35
Lcorsia			3,75
Lcor_eme	3		
3) Ottico	$A_{min,3}$	111,8939	

I calcoli di tutte e tre le configurazioni sono stati riportati nell'Appendice E del presente documento, si riportano di seguito i parametri di scala A relativi a tutte e tre le configurazioni:

- V=90 Km/h -> $A_{90} = 200$
- V=100 Km/h -> $A_{100} = 240$
- V=130 Km/h -> $A_{130} = 360$

2.3.4 Analisi di una curva sinistrorsa

Il caso di una curva sinistrorsa è caratterizzato da più situazioni differenti, innanzi tutto si divide tra chiusura della corsia di marcia o quella di sorpasso, inoltre come vedremo necessita di un'ulteriore valutazione sulla possibilità di vedere al di sopra dei New Jersey o dei guardrail posti come separazione dei due sensi di marcia. Come abbiamo già ampiamente analizzato, nel caso di chiusura della corsia di marcia, è necessario porre un cartello di preavviso sulla corsia di emergenza e dopo 500m il mezzo che effettivamente chiude la corsia (Fig. 2.12). Mentre nel caso di chiusura della corsia di sorpasso i segnali di preavviso diventano due e si posizionano sempre sulla corsia di emergenza e alla distanza di 500m dal secondo segnale di preavviso viene posto il mezzo che chiude la corsia (Fig. 2.13). Pertanto noti i parametri geometrici della curva si è provveduto a disegnarla accuratamente su un software di disegno tecnico con l'accortezza di rispettare tutti i dati precedentemente calcolati.

All'interno di un raccordo clotoide-curva-clotoide bisogna cercare la posizione più sfavorevole in termini di visibilità. Dalla figura 2.17 estratta dalle slide di una lezione dell'università di Trieste del prof. Roberto Roberti [17], si può vedere bene come all'interno dell'arco di circonferenza la visuale sia sempre la stessa ma per un conducente che si trova sulla clotoide invece la visuale aumenta poichè aumenta il raggio di curvatura. Ovviamente trattandosi di un cantiere mobile nell'analisi bisogna tenere conto di tutti questi aspetti pertanto il calcolo proposto sarà effettuato posizionando l'intero comparto segnaletico all'interno dell'arco di circonferenza a raggio costante. In particolare per ragioni grafiche si è scelto di posizionare il conducente all'inizio dell'arco ma come detto è valido per una qualunque posizione all'interno dello stesso.

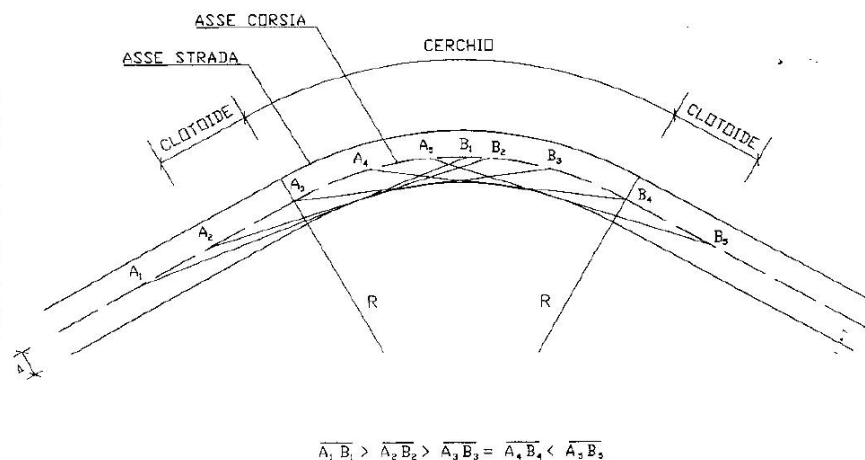


Figura 2.17: Visuale libera all'interno di un raccordo

Prima di entrare nel vivo dell'analisi della visibilità vale la pena fare un breve richiamo degli aspetti cruciali sulla "Fisiologia della visione" dell'occhio umano. Per far ciò è stato utilizzato il manuale sulla progettazione delle strade redatto da Felice A. Santagata dal nome "Strade - Teoria e tecnica delle costruzioni stradali" ([15]). Come indicato nel manuale, il processo di percezione e risposta è costituito da una sequenza di fasi, tra cui l'individuazione degli elementi rilevanti lungo la traiettoria, l'identificazione e la successiva discriminazione di tali elementi per distinguere situazioni cruciali da quelle meno significative. L'ultima fase comporta l'esecuzione dell'azione considerata più appropriata.

Per quanto riguarda la percezione delle dimensioni degli oggetti, quando un osservato-

re si trova a una distanza di 15-20 metri da un oggetto, riesce a percepirne correttamente le dimensioni. Tuttavia, a distanze superiori, gli oggetti appaiono progressivamente più piccoli. Questo fenomeno è attribuibile alla visione binoculare dell'uomo, poichè entrambi gli occhi osservano le immagini con una certa sovrapposizione e angolazione leggermente diverse. Grazie all'elaborazione cerebrale di queste due immagini, siamo in grado di percepire la terza dimensione e, di conseguenza, la distanza dagli oggetti. Il termine "campo visivo" si riferisce alla porzione di spazio che un individuo può osservare mantenendo la testa e gli occhi in una posizione statica.

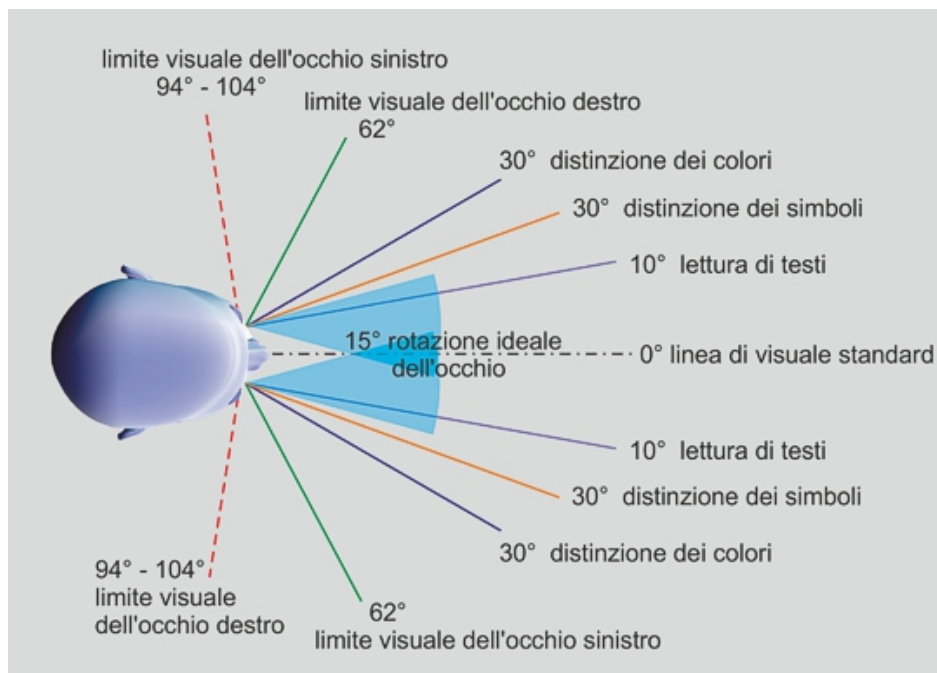


Figura 2.18: Angoli visuali orizzontali

Come si evince dall'immagine riportata (Fig. 2.18), estratta dal sito www.fontanesi.ch riportato nella sitografia, per angoli minori di 30°, l'occhio umano riesce a riconoscere i simboli in maniera corretta, angolo che nel caso dei modelli realizzati non viene mai superato se si assume che la visuale non possa oltrepassare le barriere laterali anti-rumore o anti-caduta a margine della carreggiata (Fig. 2.19). Se però si dà la possibilità al conducente di vedere al di fuori del tracciato stradale questo angolo viene ampiamente superato tenendo conto che il conducente mantiene gli occhi puntati in direzione parallela alla tangente alla curva nel punto in cui si trova il veicolo indicato nell'immagine con un pallino verde (Fig. 2.20). Per questo motivo l'analisi che è stata condotta non prevede in nessun caso che la visuale libera del conducente possa uscire dalla sede stradale per non incorrere in valutazioni errate.

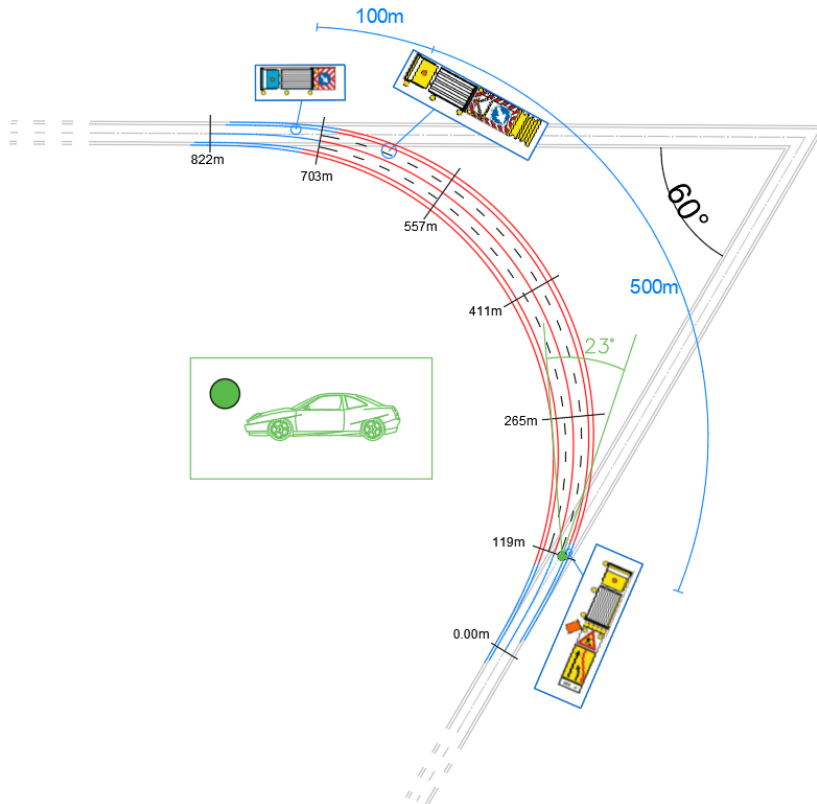


Figura 2.19: Angolo di visione all'interno della sede stradale

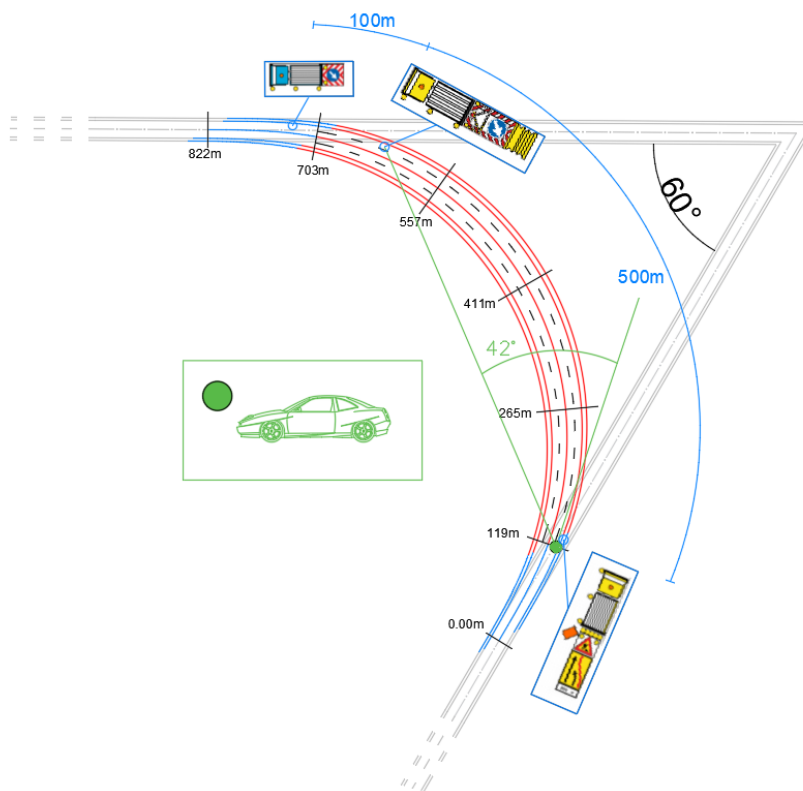


Figura 2.20: Angolo di visione al di là della sede stradale

Anche per quanto riguarda la visione verticale si possono valutare gli angoli caratteristici che interessano l'occhio umano (Fig. 2.21). È importante precisare che i campi di visione distinta e periferica sono più ampi di quelli anzidetti poiché l'occhio umano non rimane immobile durante la percezione dell'immagine ma è stimolato dal cervello in modo inconscio nel compiere movimenti. Nel contesto in esame, quando il conducente si trova in movimento a una certa velocità, la percezione visiva subisce distorsioni e il tempo a disposizione per riconoscere e reagire a situazioni cambianti si riduce notevolmente. La visione prospettica del conducente durante la guida in moto presenta due caratteristiche principali: da un lato, gli oggetti vicini sembrano muoversi più rapidamente rispetto a quelli distanti; dall'altro, i limiti degli angoli di percezione si contraggono. Questi fattori rendono la percezione visiva durante la guida in moto un processo complesso che richiede una rapida elaborazione delle informazioni visive e una pronta risposta alle condizioni di traffico in evoluzione. Si riporta in tal senso il diagramma (Fig. 2.22) che mostra questo aspetto riportato nel manuale di Santagata [15].

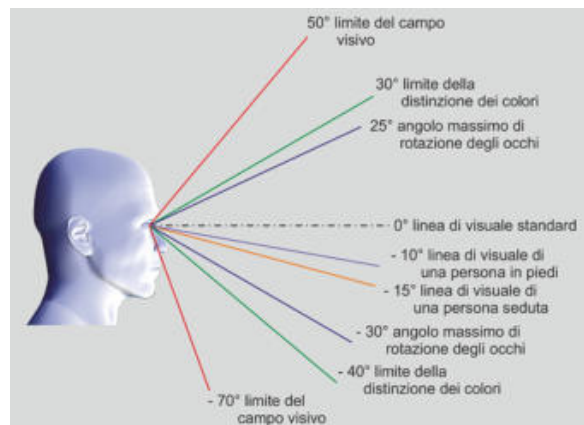


Figura 2.21: Angoli di visibilità verticali

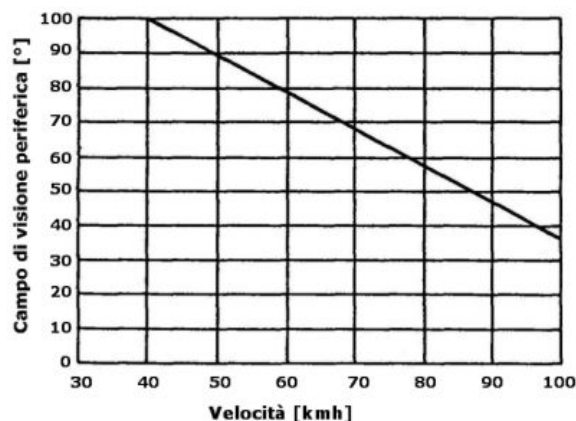


Figura 2.22: Campo di visione periferica

È chiaro che a questo punto sia necessario approfondire a seconda della curva che il cantiere dovrà affrontare l'effettiva possibilità di percepire i simboli caratteristici dei segnali e ovviamente la possibilità di vedere o meno la chiusura della corsia. Non è facile analizzare con accuratezza se sia possibile vedere al di sopra dei New Jersey poiché la dimensione degli stessi può variare notevolmente da una strada all'altra e soprattutto la loro presenza non è garantita in tutti i tratti della rete autostradale. Spesso si ricorre a elementi di separa-

zione differenti soprattutto in virtù dello spazio a disposizione per la separazione di due carreggiate adiacenti. Nei modelli riportati si sono analizzate entrambe le possibilità, sia che il conducente riesca a vedere il mezzo che chiude la corsia, sia che per ragioni di altezza del New Jersey la visione è impossibilitata. Si uniscono a quest'ultimo caso anche le curve nelle quali i due sensi di marcia sono distanti tra loro e pertanto non valgono i modelli a carreggiate ravvicinate. Si rimanda poi a chi di competenza effettuare tali valutazioni e se necessario procedere a una costruzione tridimensionale del tracciato per una più precisa valutazione.

Come detto, gli elementi impiegati per la separazione delle carreggiate sono i "New Jersey", non entreremo nel dettaglio su questi elementi ma si riportano solamente le dimensioni caratteristiche che ovviamente variano a seconda delle necessità (Fig. 2.23). L'immagine riportata è stata ricavata dalla scheda tecnica fornita da DeltaBloc, azienda fornitrice di Tecne S.p.A. per quanto riguarda questo tipo di dispositivi di ritenuta. Come si può vedere i dispositivi utilizzati hanno un'altezza di 1,2m, superiore a quella considerata per valutare la visibilità di un conducente che è fissata dal D.M. 5/11/2001 [14] (1,1m). C'è da precisare però che seppur l'altezza del dispositivo è superiore a quella del conducente, il mezzo che chiude la corsia, o che ne prescrive l'imminente chiusura, ha un'altezza di 3,6m come riportato al paragrafo 2.4.3 del presente capitolo. Pertanto anche se l'occhio del guidatore si trova al di sotto del New Jersey non è da escludere a priori la possibilità di scorgere il segnale. Oltretutto il valore di 1,1m è spesso impiegato per le verifiche di visibilità ma bisogna tenere in considerazione che i modelli di auto presenti nel mercato sono variegati e se per alcuni questa altezza viene superata abbondantemente, per altri invece non viene mai raggiunta. La normativa attuale risale a ventidue anni fa, momento storico nel quale i modelli di auto a disposizione erano notevolmente differenti e pertanto anche considerare come altezza di guida 1,1m potrebbe portare a valutazioni errate.

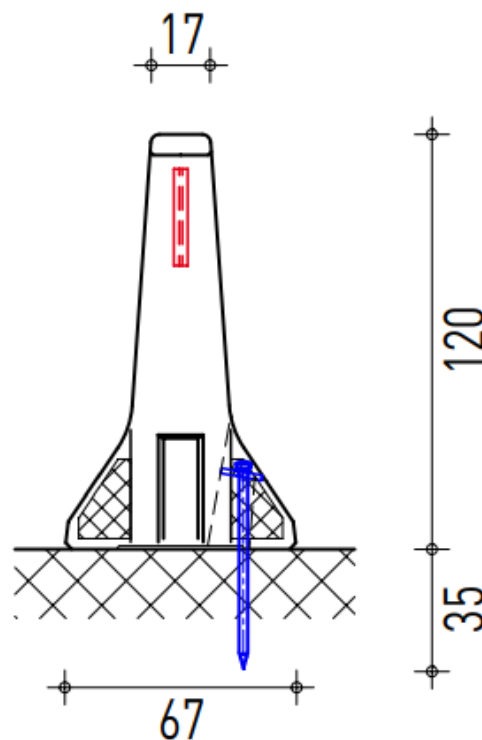


Figura 2.23: Dimensione dei New Jersey - DeltaBloc

gravi incidenti che possono mettere a repentaglio la vita prima di tutto di eventuali lavoratori a terra ma anche del conducente distratto stesso. Se effettivamente poi il rientro nella corsia di marcia avviene, il conducente avrebbe la possibilità di arrestare il veicolo (come indicato nella quota in rosso) ma non quella di cambiare nuovamente corsia poichè lo spazio rimanente non sarebbe più sufficiente. Resta poi da aggiungere che un eventuale arresto del veicolo dietro al mezzo che chiude la corsia metterebbe comunque in difficoltà il conducente nel rientrare nella corsia di sorpasso poichè trovandosi in curva avrebbe visibilità limitata nello scorgere i veicoli che sopraggiungono alle spalle. Bisogna sottolineare che nell'esempio in esame si sta considerando un conducente che si accorge preventivamente del segnale di preavviso e inizia la manovra di cambio corsia prima ancora di superarlo. Un'eventualità ancora più pericolosa sarebbe quella di un conducente che inizia la manovra di cambio corsia solo dopo aver superato il segnale di preavviso. Come è facile immaginare questa eventualità porterebbe il conducente a non avere più lo spazio per arrestare il veicolo prima di impattare contro il mezzo operativo incaricato della chiusura della corsia.

Si riporta infine uno schema da esempio che rappresenta la visuale disponibile per un conducente che percorre una curva limitata a 90Km/h con angolo tra i rettilinei di 60° sia nel caso di assenza dei New Jersey (Fig. 2.25) che per visuale impedita dai dispositivi di ritenuta (Fig. 2.26). Come si può notare dalla linea blu spessa, la visuale stimata attraversa le protezioni laterali che separano le due carreggiate. Si sta assumendo infatti che tali protezioni siano ad un'altezza tale da consentire al conducente di vederle al di sopra oppure siano assenti. La visuale disponibile in questa circostanza è stimata a 295m, valore che come detto va in ogni caso confrontato con le distanze di arresto e cambio corsia. Se si vuole infatti proporre una modifica agli schemi segnaletici è importante prestare attenzione a questi aspetti per non peggiorare la sicurezza del conducente. È necessario sottolineare come la linea in blu, che rappresenta la distanza di visibilità, è tracciata a partire dalla corsia di sorpasso che è la posizione del conducente che ha rispettato la prescrizione e va a finire sulla corsia di marcia dove viene posto il mezzo che chiude la corsia. Questo perchè nel caso di curva sinistrorsa la visibilità minore si ricava proprio per un conducente che viaggia sulla corsia di sorpasso.

Per il calcolo delle distanze di visibilità si valutano due diversi contributi, la distanza percorsa durante il tempo impegnato per percepire e reagire al pericolo e la distanza effettiva di arresto del veicolo. All'interno del Manuale "Costruzioni stradali: Teoria e tecnica delle costruzioni stradali" di F. Santagata [15], viene proposta una formulazione dettagliata che tiene conto di tutti i parametri fondamentali nell'arresto di un veicolo:

$$D_{arresto} = v_p * (2,8 - 0,01 * V_p + \tau) + \frac{v_p^2}{2 * g * (f_{AE} + i_L)} \quad (2.13)$$

Dove:

- v_p = Velocità [m/s]
- V_p = Velocità [km/h]
- τ = Incremento in funzione della categoria stradale (1 secondo)
- g = Accelerazione di gravità [m/s²]
- f_{AE} = Coefficiente di aderenza longitudinale equivalente [-] (Tab. 2.1)
- i_L = Pendenza longitudinale del tratto stradale [-]

Nella formula in alto, la distanza di arresto dipende ovviamente anche dalla pendenza longitudinale del tratto stradale considerato. In questa fase si è scelto di calcolare le distanze di

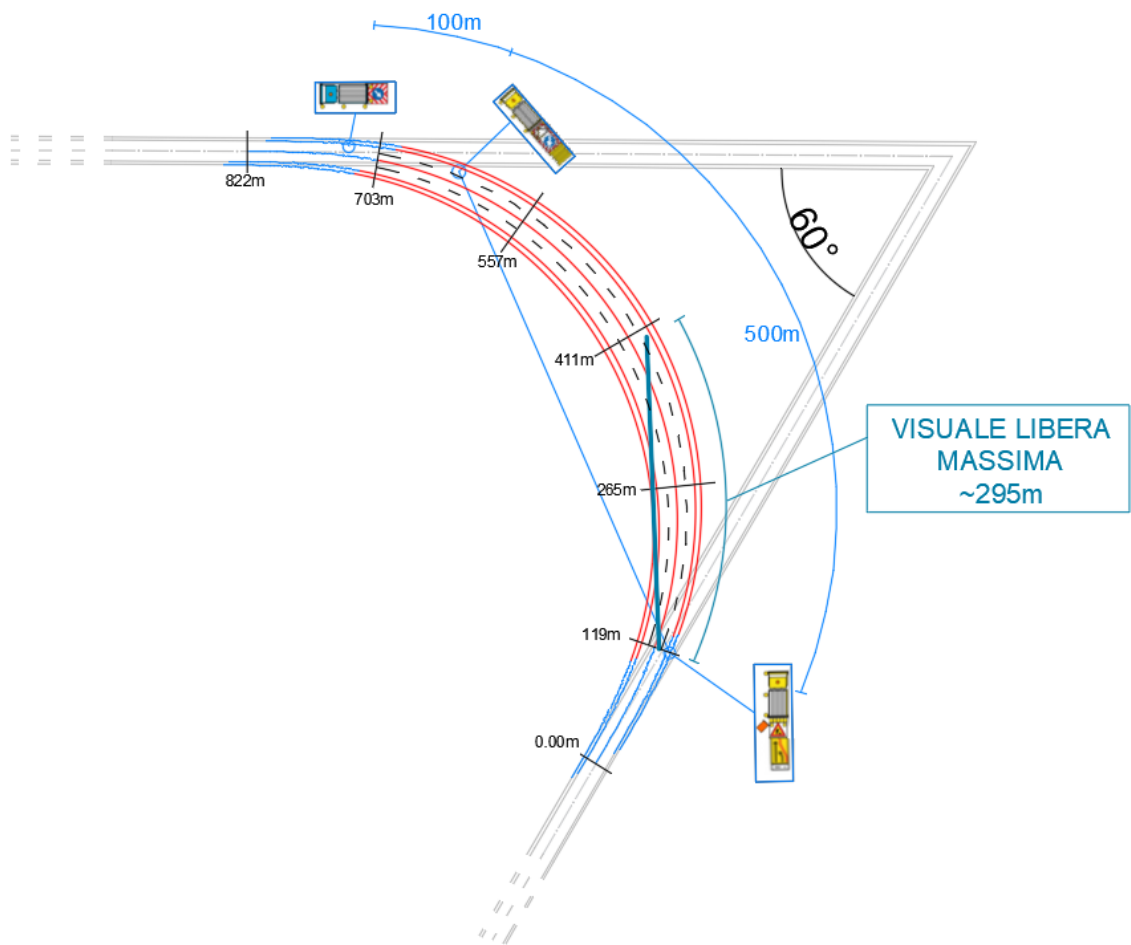


Figura 2.25: Visuale libera per una curva sinistrorsa - Chiusura corsia di marcia - Visuale al di sopra dei New Jersey ($\alpha=60^\circ$, $V=90\text{km/h}$)

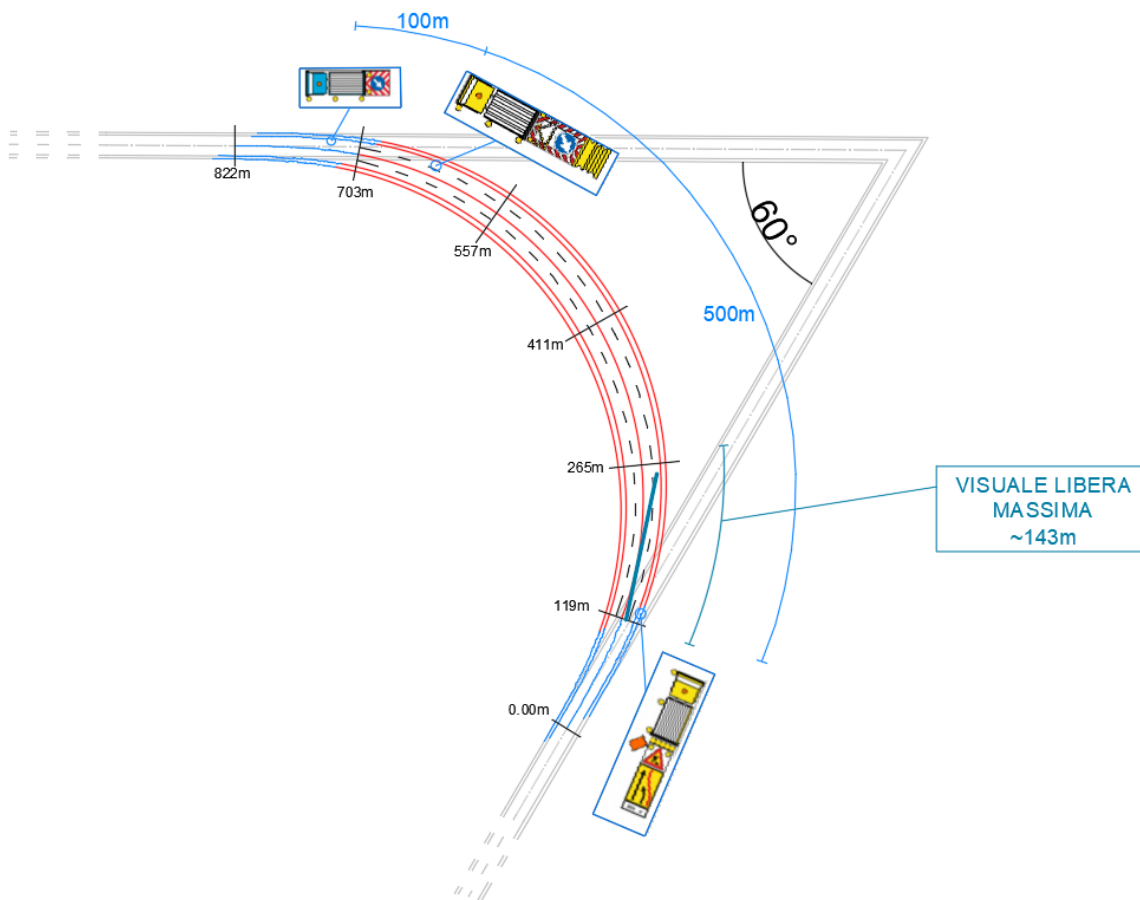


Figura 2.26: Visuale libera per una curva sinistrorsa - Chiusura corsia di marcia - Visuale impedita dalla presenza dei New Jersey ($\alpha=60^\circ$, $V=90\text{km/h}$)

Tabella 2.1: Tabella delle Velocità di Progetto e Categorie Stradali

Cat. Strad.	Velocità di Progetto [<i>km/h</i>]											
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
A	-	-	-	-	-	0.51	0.49	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43
B, C, D, E, F	0.51	0.48	0.46	0.43	0.40	0.38	0.36	0.35	0.33	0.31	-	-

arresto considerando una pendenza del tratto nulla (0%), tuttavia nell'appendice E è stata riportata una tabella con i valori delle distanze di arresto valutate al variare della pendenza dalla massima in discesa (-6%) alla minima in salita (6%).

Per valutare invece le distanze necessarie per il cambio corsia si fa riferimento al D.M. 5 Novembre 2001 [14] che al paragrafo 5.1.4 riporta la formulazione seguente:

$$D_{cc} = 9,5 * v_p = 2,6 * V_p \quad (2.14)$$

Dove:

- v_p = Velocità [*m/s*]
- V_p = Velocità [*km/h*]

In definitiva si riporta una tabella riepilogativa con tutte le distanze di visibilità ricavate al variare della velocità.

Tabella 2.2: Tabella delle Velocità e Distanze di visibilità

Distanze di visibilità	Velocità [<i>km/h</i>]		
	90	100	130
$D_{arresto}$ [<i>m</i>]	137,5	161.5	241.3
$D_{cambiocorsia}$ [<i>m</i>]	234	260	338

Per quanto riguarda il modello riportato nella figura 2.25, entrambe le verifiche sono soddisfatte, la visuale garantita dalla costruzione della curva risulta sempre maggiore dalle distanze necessarie alle manovre fondamentali per garantire la sicurezza del conducente. Vale la pena però fare un piccolo ragionamento sulla distanza di cambio corsia che risulta di 234m, possiamo vedere come questa è molto vicina alla distanza di visibilità valutata nella figura 2.25 (295m), pertanto un'eventuale modifica allo schema segnaletico, modificando ad esempio la distanza tra segnale di preavviso e quello di chiusura, potrebbe portare un conducente distratto, che sta viaggiando a una velocità superiore a quella imposta, a non avere più lo spazio necessario per effettuare la manovra di cambio corsia.

Se infatti consideriamo un conducente distratto che non rispetta le limitazioni di velocità (90Km/h) e che sopraggiunge nei pressi del segnale di preavviso chiusura della corsia viaggiando ad esempio ad una velocità di 130 Km/h, avrebbe bisogno di 338m per effettuare la manovra di cambio corsia. Il D.M. 10/07/2002 [2] come ampiamente analizzato nel capitolo 1 del seguente elaborato prevede che nel caso in cui la visibilità sia ridotta è necessario in ogni caso garantire una visibilità dei segnali da almeno 300m e se nel caso come quello in esame ciò non è possibile è necessario aggiungere un ulteriore segnale di preavviso ad una distanza media tra quella prevista dallo schema segnaletico. Questo si traduce nell'aggiunta di un ulteriore segnale di preavviso ad una distanza intermedia di 250m dal primo segnale di preavviso e alla stessa quindi dall'effettiva chiusura della corsia.

Ponendoci come al solito nella situazione più sfavorevole possibile, se un conducente si rende conto dell'imminente chiusura corsia solo nel momento in cui visualizza il segnale di preavviso, non ha più la distanza necessaria a effettuare la manovra di cambio corsia (338m) pur avendo però la possibilità eventualmente di arrestarsi (241,3m) prima del mezzo impiegato alla chiusura della corsia. Ciò non toglie però che rimarrebbe fermo alle spalle del mezzo senza una sufficiente visibilità alle spalle per immettersi nella corsia di sorpasso per proseguire regolarmente il suo cammino. Ricordiamo in ogni caso che i parametri utilizzati per la costruzione della curva sono estremizzati nel limite del possibile e che è raro ma non impossibile trovare delle curve che presentano raggi di curvatura simili costruiti su due rettilinei che abbiano un angolo di 60°.

La soluzione proposta dal D.M. 10/07/2002 [2] potrebbe essere valida se si assume che il conducente riesca a vedere al di sopra dei New Jersey, ma come abbiamo valutato ciò non è assolutamente scontato visto che l'altezza del conducente viene valutata a 1,1m e quella del New Jersey a 1,2m. È anche vero che non sempre è presente questo tipo di delimitazione nelle autostrade Italiane anche grazie allo spazio tra le due carreggiate che se sufficientemente ampio permette soluzioni differenti. Proprio per questo motivo si è pensato in questo elaborato di analizzare la visibilità per visuale al di sopra della delimitazione centrale della carreggiata. Ovviamente bisogna valutare caso per caso se questa eventualità è possibile.

Per il caso in esame è stata formulata una proposta (Fig. 2.28) che potrebbe risultare valida e che mantiene le disposizioni attualmente previste dalla normativa ma con una piccola modifica allo schema riportato nella figura 2.25. Nella proposta si consiglia l'impiego dei dispositivi dissuasori di velocità (Fig. 2.27) in aggiunta al secondo mezzo impiegato per il preavviso della chiusura della corsia. Questo tipo di dispositivi sono già previsti nel caso di cantieri fissi all'interno del Disciplinary Tecne [3] ma potrebbero essere impiegati anche nel caso di cantieri mobili laddove si ritiene necessario l'impiego di un secondo mezzo per il preavviso di chiusura della corsia.

Da uno studio della "National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine" che è un'Accademia collettiva nazionale degli Stati Uniti che ha pubblicato il "The National Cooperative Highway Research Program" (NCHRP) nel 2015 [18] è emerso come l'impiego dei sistemi dissuasori nelle autostrade nei pressi dei cantieri sia mobili che fissi abbia avuto notevoli benefici per l'abbassamento della velocità media. I dispositivi dissuasori di velocità come quello riportato nella figura 2.27 integrano un segnale stradale statico che indica il limite di velocità stabilito o raccomandato con un pannello digitale contiguo che mostra la velocità attuale del veicolo più prossimo. La visualizzazione della velocità reale ai conducenti durante l'avvicinamento a una zona di lavoro (o durante il transito attraverso la zona di lavoro) è diventata una pratica efficace per gestire la velocità.

Il feedback dinamico può ridurre modestamente l'andamento dei veicoli nelle immediate vicinanze del display, con diversi studi di ricerca che mostrano una gamma di riduzioni di velocità di circa 1-8 mph nell'area che si avvicina ai conetti di riduzione delle corsie e di 3-6 mph all'interno della zona di lavoro, rispetto ai trattamenti convenzionali utilizzati nella condizione precedente. Il trattamento è stato valutato ed è risultato efficace sia per le zone di lavoro a breve termine (operazioni di manutenzione) che per i progetti a lungo termine (Carlson et al. 2000 [19]; McCoy and Pesti 2002 [20]; Brewer et al. 2006 [21]). Si può concludere con certezza che una sperimentazione di questi dispositivi nel territorio nazionale non può che essere una possibilità valida per cercare di ridurre il numero di incidenti che si verificano nei pressi dei Cantieri autostradali.



Figura 2.27: Dispositivi di dissuasione della velocità

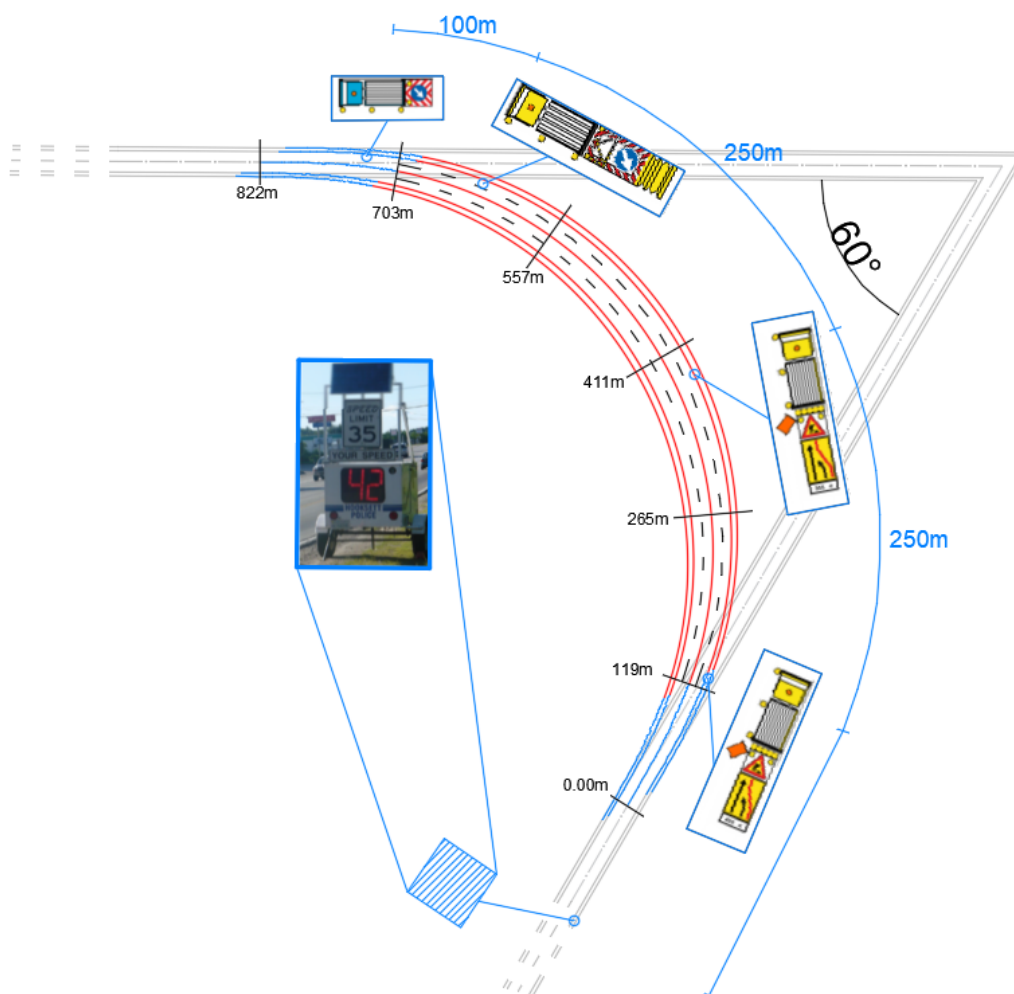


Figura 2.28: Modifica allo schema segnaletico per chiusura corsia di marcia con aggiunta di segnale di preavviso e dissuasore di velocità

Diverso è invece il caso di visuale impedita dalla presenza dei New Jersey (Fig. 2.26) in cui viene garantita la possibilità di arresto (137,5m) ma non quella di cambio corsia (234m) che richiede quasi 100 metri in più di quelli disponibili alla visibilità del conducente (143m). Come analizzato dalla figura 2.24 il rischio in questa situazione è quello che un conducente distratto possa rientrare nella corsia di marcia a causa della visibilità ridotta che ne impedisce la vista sul mezzo che chiude la corsia. Inoltre, se nel caso di visuale al di sopra dei New Jersey una visibilità di 295m permetteva la semplice aggiunta di un segnale di preavviso in più interposto tra mezzo di preavviso già presente e mezzo di chiusura della corsia, in questo caso la visibilità di 143m non permette l'adozione di questo schema. Si è pensato pertanto che una soluzione valida potrebbe essere quella di incrementare il comparto segnaletico in modo tale da avere, nella percorrenza della curva, sempre un segnale che indica la presenza di cantiere con l'obbligo di mantenersi nella corsia di sorpasso e il controllo della velocità mediante un dispositivo di dissuasione. A tal proposito è stato realizzato un modello semplificato (Fig. 2.29) di una possibile modifica allo schema precedentemente adottato e che prevede il raddoppio dei mezzi utilizzati per il preavviso della chiusura corsia (come avviene per la corsia di sorpasso ma a distanze diverse) con l'aggiunta del carrello trainabile con monitoraggio della velocità interposto tra questi.

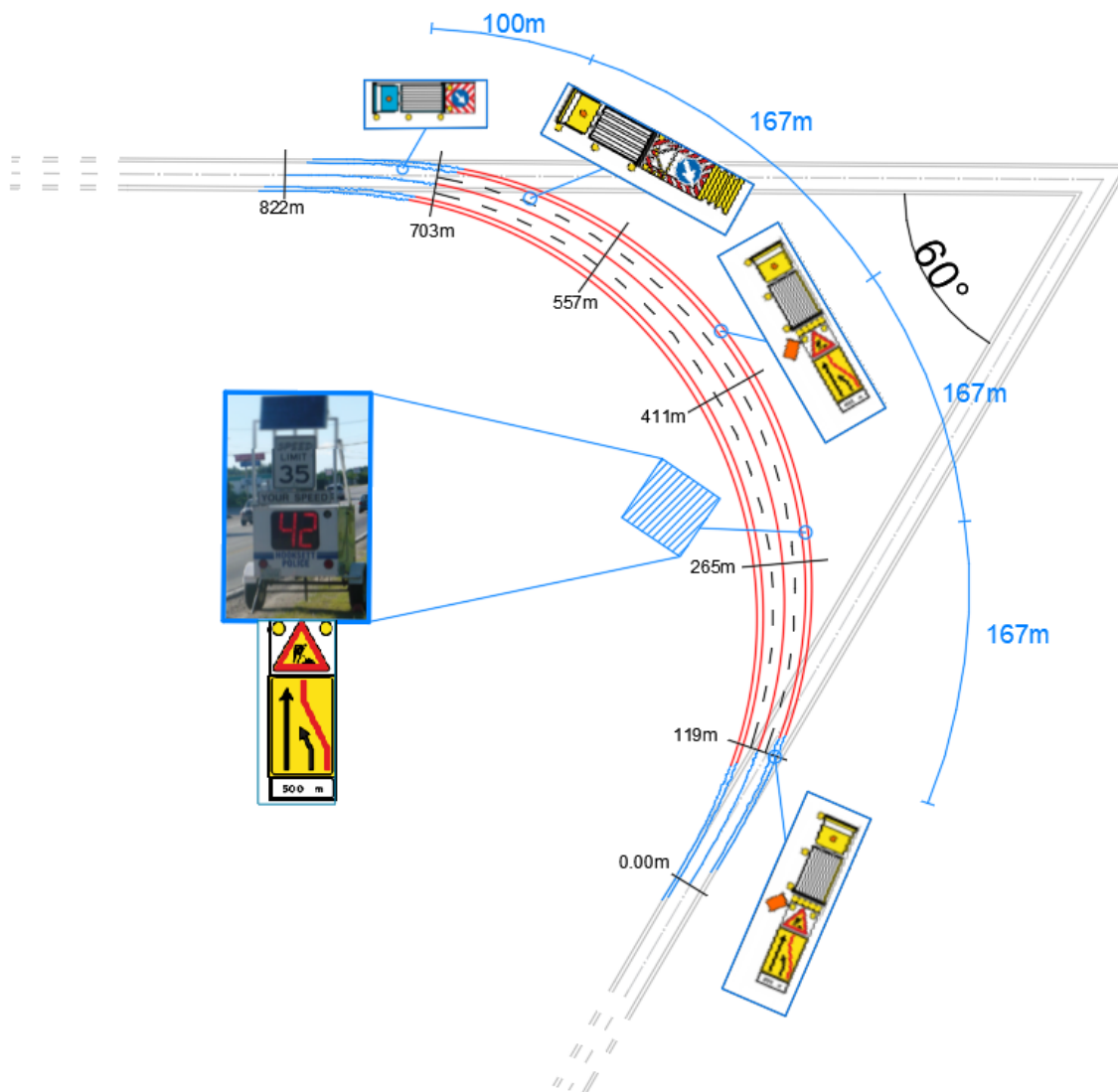


Figura 2.29: Schema alternativo da adottare se non è garantita la visibilità in curva

In questo modo anche un conducente distratto ha sempre lungo la percorrenza della curva la possibilità di avere nella sua visuale un mezzo inerente la chiusura della corsia. È doveroso precisare che la distanza tra i mezzi, come evidenziato in figura 2.29, è di 167m che comunque risulta maggiore della visibilità nella curva in esame, tuttavia la differenza tra queste due distanze è estremamente ridotta e non si avrebbe mai lo spazio per iniziare la manovra di cambio corsia. Inoltre, il carrello trainabile per il controllo della velocità potrebbe essere accompagnato da un altro segnale di chiusura corsia per evitare che si limiti la velocità senza raggiungere il vero obiettivo dello schema e cioè di far cambiare la corsia ai conducenti.

L'analisi è proseguita costruendo tutti i modelli facendo variare parametri precedentemente riportati e sono stati raccolti tutti i dati all'interno di tabelle riassuntive per una valutazione rapida della distanza di visibilità. In questa sede si vuole innanzitutto far emergere la problematica e in secondo luogo fornire uno strumento di valutazione con le distanze di visibilità ricavate per i casi analizzati. A tal proposito allora si riportano alcuni degli schemi prodotti e alla fine una tabella riassuntiva che racchiude tutte le distanze di visibilità valutate.

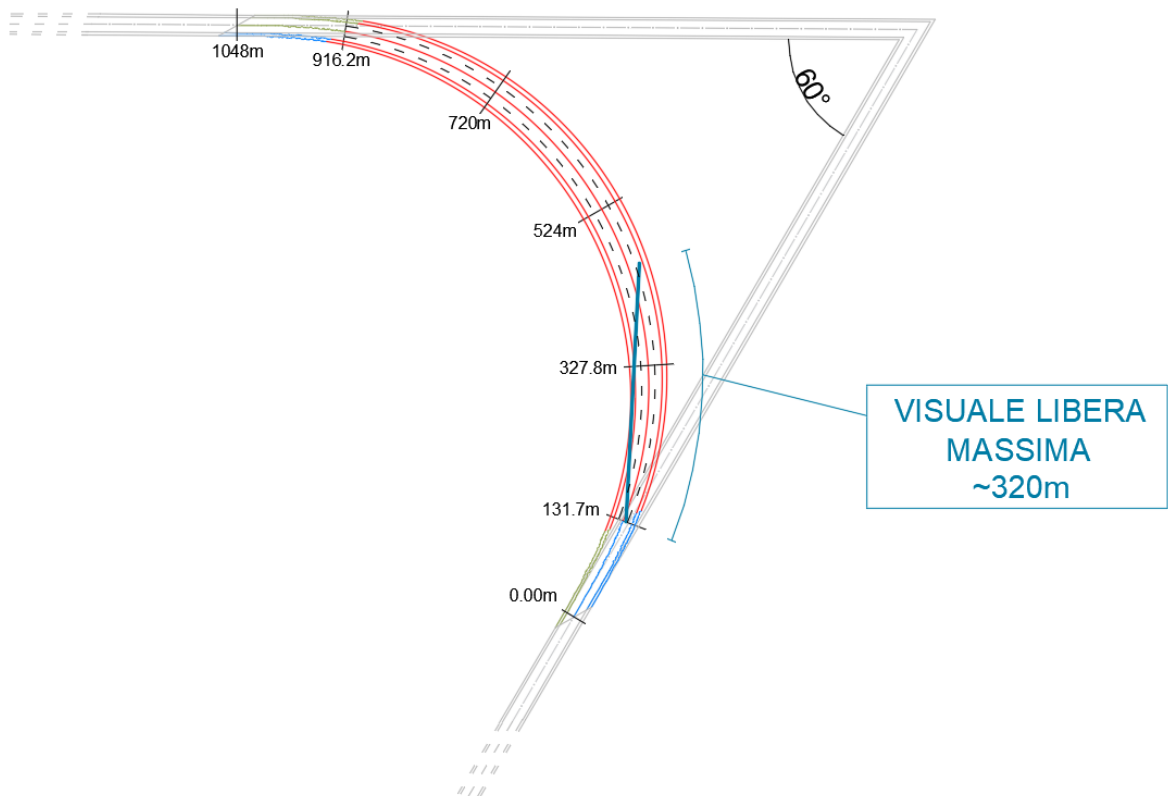


Figura 2.30: Visuale libera per una curva sinistrorsa - Chiusura della corsia di marcia - Visuale al di sopra dei New Jersey ($\alpha=60^\circ$, $V=100\text{km/h}$)

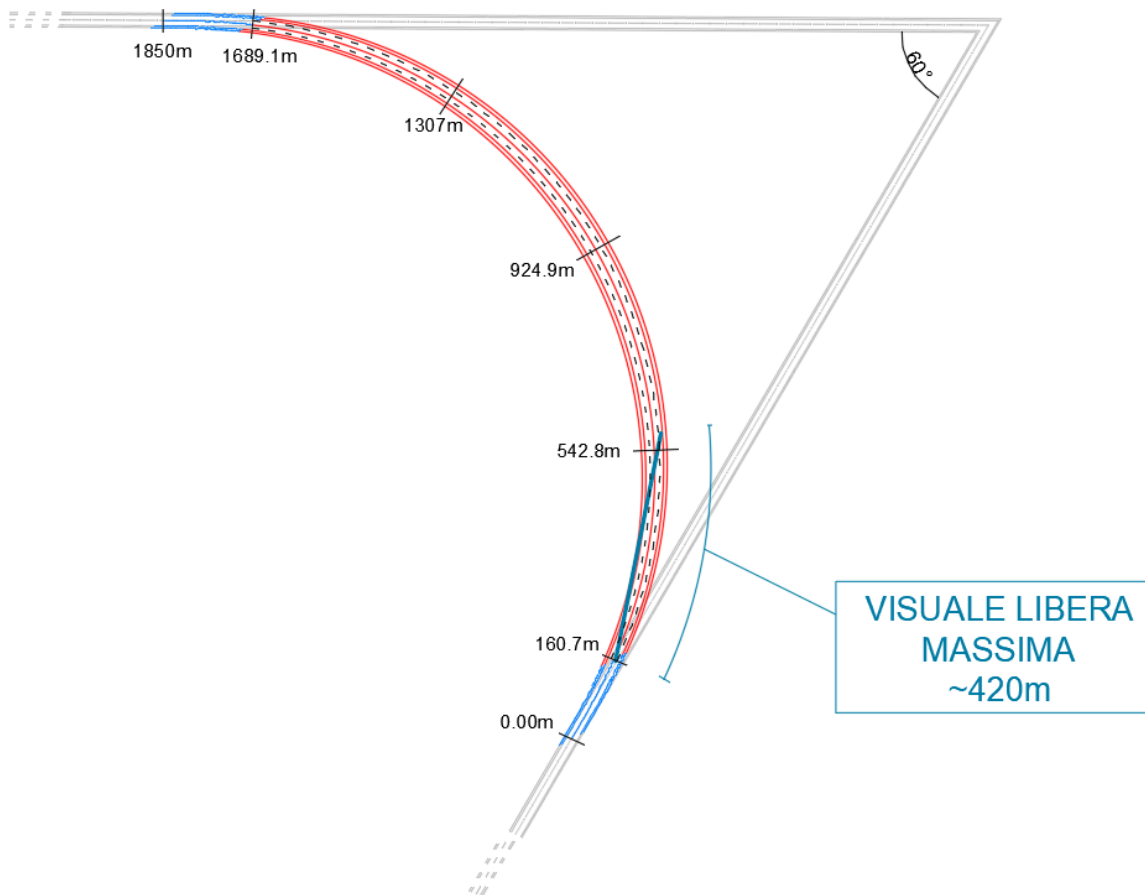


Figura 2.31: Visuale libera per una curva sinistrorsa - Chiusura della corsia di marcia - Visuale al di sopra dei New Jersey ($\alpha=60^\circ$, $V=130\text{km/h}$)

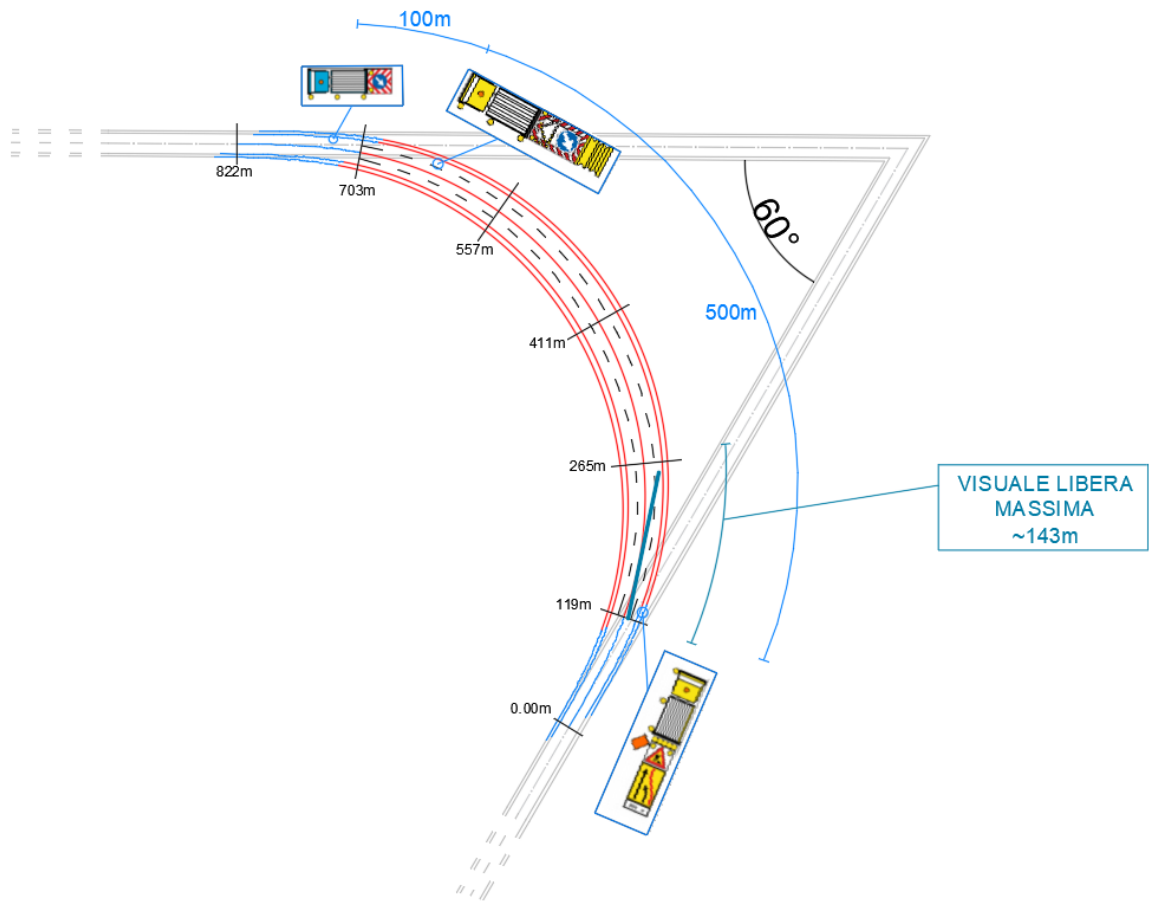


Figura 2.32: Visuale libera per una curva sinistrorsa - Chiusura corsia di marcia - Visuale impedita dai New Jersey ($\alpha=60^\circ$, $V=90\text{km/h}$)

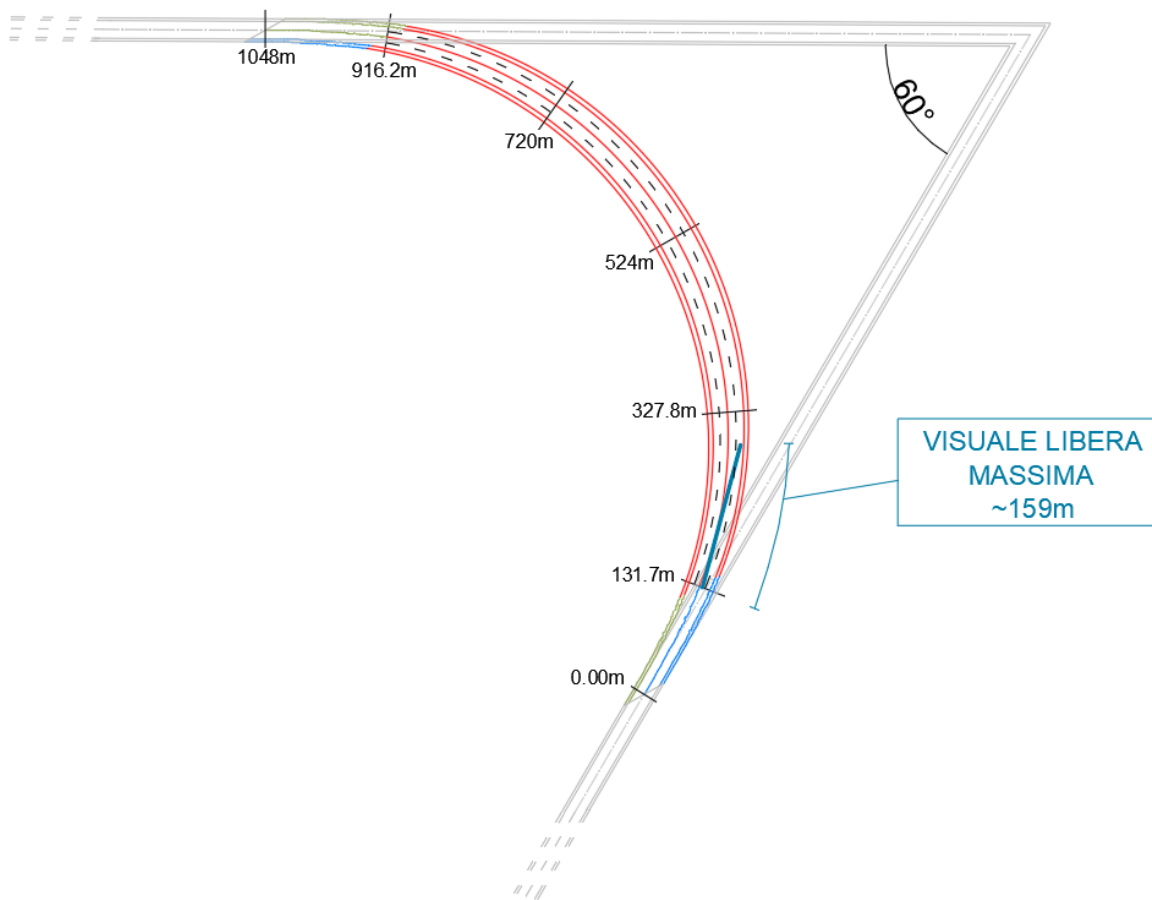


Figura 2.33: Visuale libera per una curva sinistrorsa - Chiusura corsia di marcia - Visuale impedita dai New Jersey ($\alpha=60^\circ$, $V=100\text{km/h}$)

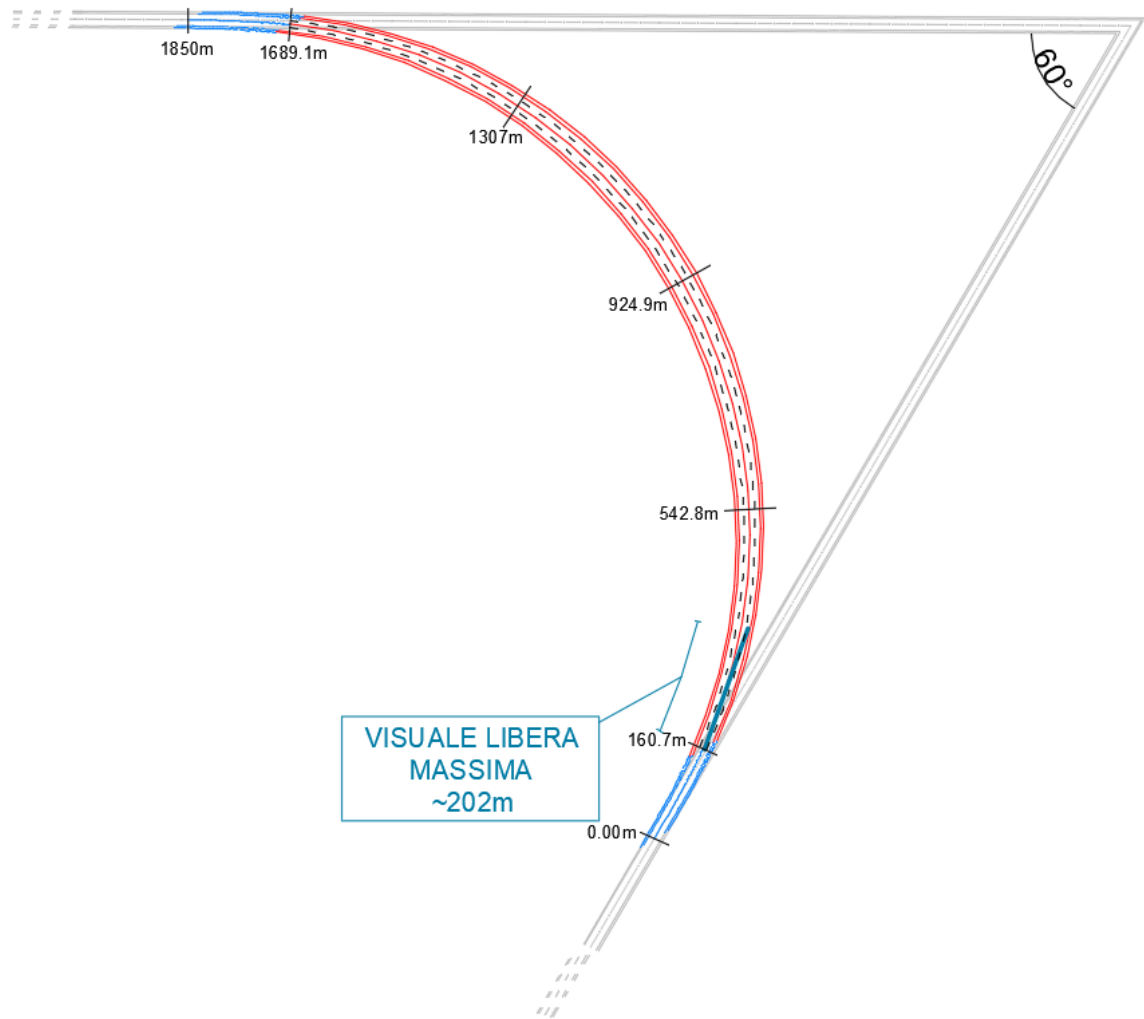


Figura 2.34: Visuale libera per una curva sinistrorsa - Chiusura corsia di marcia - Visuale impedita dai New Jersey ($\alpha=60^\circ$, $V=130\text{km/h}$)

Nelle figure 2.30, 2.31, 2.32, 2.33, 2.34 non è stato effettuato lo zoom sulle posizioni esatte di valutazione della visibilità o sulla posizione dei mezzi del cantiere poichè in questa disamina si è sempre considerato il caso di cantiere sulla corsia di marcia. Pertanto in tutte le immagini i mezzi di preavviso sono posti sulla corsia di emergenza mentre quelli operativi ovviamente viaggiano sulla corsia di marcia. La visibilità invece è stata sempre valutata con il guidatore posto sulla corsia di sorpasso come nel punto C della figura 2.24 che guarda il mezzo che chiude la strada che si trova sulla corsia di marcia.

In definitiva si riportano delle tabelle conclusive che racchiudono tutte le distanze di visibilità al variare delle condizioni precedentemente analizzate. Vediamo come anche per curve a raggio più elevato, percorribili alla velocità massima consentita in autostrada, comunque non si riesce a garantire la corretta visibilità tra il segnale di preavviso e la chiusura effettiva della corsia di marcia.

Tabella 2.3: Visuali libere per curva sinistrorsa con chiusura della corsia di marcia - Visuale al di sopra dei New Jersey

	Angolo (α)			
	60°	70°	80°	90°
$R_{\min} = 339.0 \text{ m}$ (V=90 Km/h)	295 m	275 m	265 m	253 m
$R_{\min} = 437.44 \text{ m}$ (V=100 Km/h)	320 m	310 m	300 m	285 m
$R_{\min} = 806.5 \text{ m}$ (V=130 Km/h)	420 m	400 m	385 m	375 m

Mentre rimuovendo l'ipotesi di visuale al di sopra dei New Jersey sono stati ottenuti i seguenti valori:

Tabella 2.4: Visuali libere per curva sinistrorsa con chiusura della corsia di marcia - Visuale impedita dall'asse stradale

	Angolo (α)			
	60°	70°	80°	90°
$R_{\min} = 339.0 \text{ m}$ (V=90 Km/h)	143 m	132 m	130 m	128 m
$R_{\min} = 437.44 \text{ m}$ (V=100 Km/h)	159 m	146 m	141 m	140 m
$R_{\min} = 806.5 \text{ m}$ (V=130 Km/h)	202 m	200 m	192 m	190 m

Sono stati evidenziati in rosso tutti i casi che non garantiscono la visuale minima di 300m come richiesto dal D.M. 10/07/2002 [2] in modo tale da distinguere le curve in cui è possibile utilizzare lo schema della figura 2.28, proposto dal D.M. 10/07/2002 [2] e modificato dal presente documento, dalle curve in cui invece è necessario utilizzare lo schema della figura 2.29. In particolare come mostrato dalla tabella 2.4 nel caso di chiusura della corsia di marcia con visuale impedita dalla presenza dei New Jersey si ritiene necessario l'impiego dello schema 2.29 in tutti i casi analizzati per evitare che la bassa visibilità provochi manovre azzardate da parte dei conducenti.

Chiusura della corsia di sorpasso

La valutazione della visibilità per il caso di chiusura della corsia di sorpasso è differente poichè cambiano anche le eventuali manovre che un conducente distratto potrebbe compiere. A tal proposito si è pensato di realizzare un'immagine rappresentativa che meglio esplica le due situazioni che si possono riscontrare

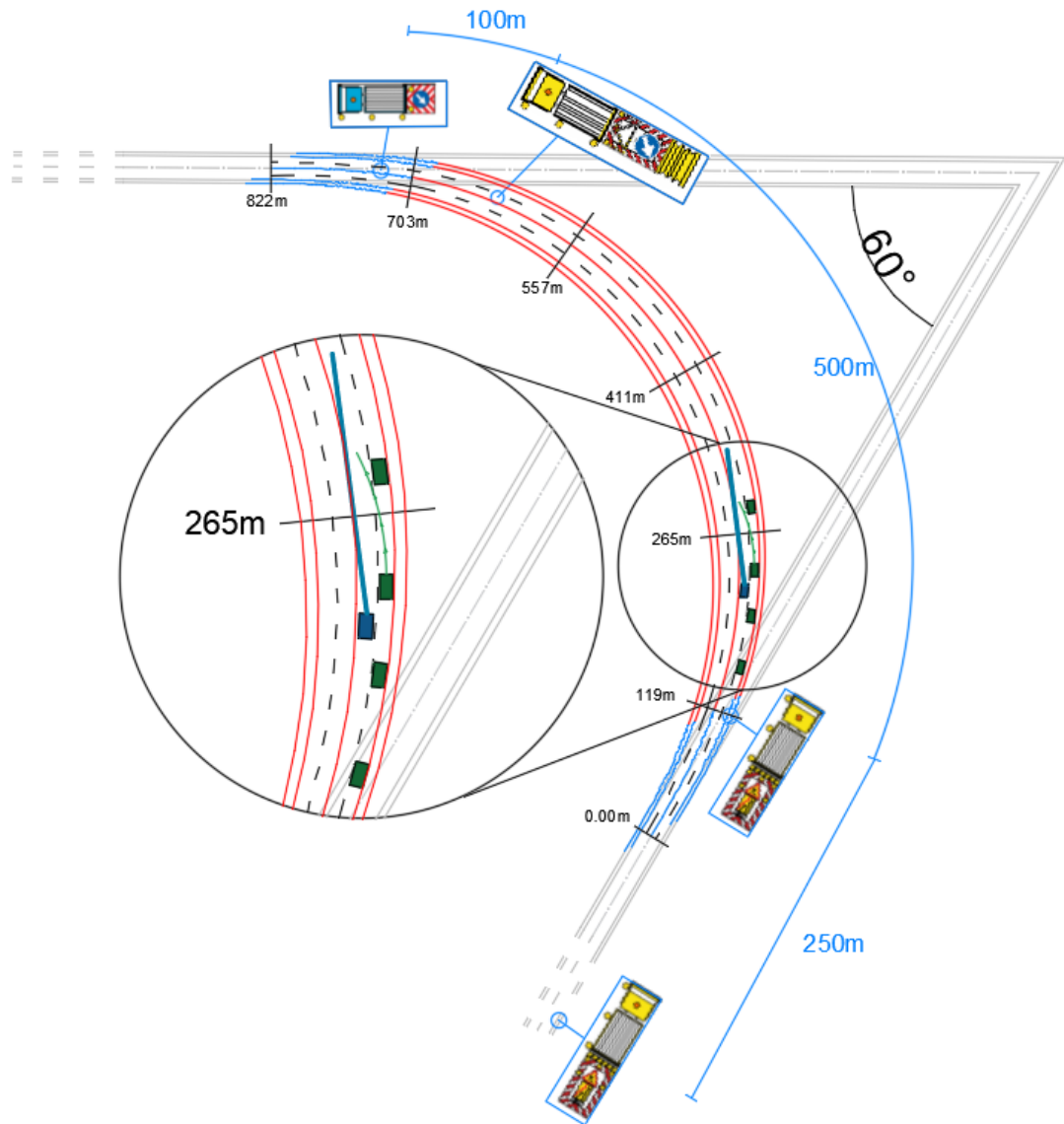


Figura 2.35: Comportamento errato a causa della scarsa visibilità con chiusura della corsia di sorpasso

Come evidenziato in figura 2.35 ci sono due comportamenti possibili che si possono verificare in caso di chiusura della corsia di sorpasso per una curva sinistrorsa. Il primo caso, che riguarda l'auto blu, è quello di un conducente che viaggia sulla corsia di sorpasso a velocità sostenuta e non vede i segnali di preavviso che si trovano sulla corsia di emergenza. Il secondo caso invece riguarda una delle auto verdi che viaggiano giustamente sulla corsia di marcia, rispettando pertanto le indicazioni previste dallo schema segnaletico, ma che non vedendo la posizione esatta in cui viene chiusa la corsia potrebbero pensare di superare il veicolo che li precede.

Il veicolo in verde rappresentato in figura 2.35, pur viaggiando sulla corsia corretta, se distratto da altri fattori potrebbe essere portato a superare il veicolo che lo precede a causa della velocità moderata e dal fatto che una volta superati i due segnali di preavviso previsti per la segnalazione della corsia di sorpasso, l'effettiva chiusura avviene dopo ben 500m. Distanza che, come abbiamo più volte analizzato nell'elaborato non si riesce mai a garantire in termini di visibilità. La visuale del conducente dell'auto verde è stata valutata partendo dalla corsia di marcia e guardando su quella di sorpasso, sia nel caso di visuale impedita dai New Jersey che per vista al di sopra delle protezioni sull'asse stradale.

Si riportano pertanto un modello per caso analizzato, la restante parte è stata riportata all'interno dell'appendice B.

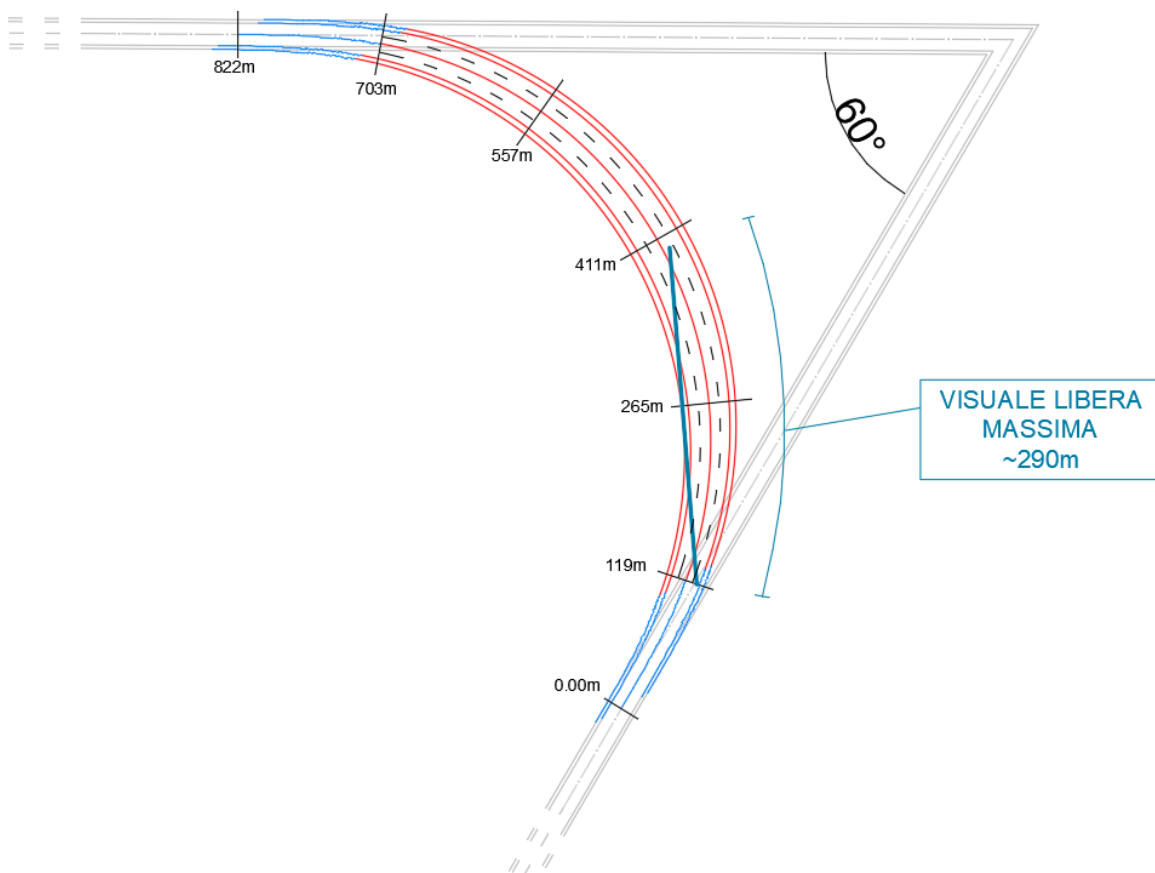


Figura 2.36: Visuale per la chiusura della corsia di sorpasso in una curva sinistrorsa - Veicolo sulla corsia di marcia - visuale al di sopra dei New Jersey

Di seguito si riporta quindi la tabella riepilogativa del veicolo che viaggia sulla corsia di marcia e che guarda al di sopra dei New Jersey (Tab. 2.5):

Tabella 2.5: Visuali libere per curva sinistrorsa con chiusura della corsia di sorpasso - Visuale al di sopra dei New Jersey per veicolo che viaggia sulla corsia di Marcia

	Angolo (α)			
	60°	70°	80°	90°
$R_{\min} = 339.0 \text{ m}$ (V=90 Km/h)	290 m	270 m	265 m	253 m
$R_{\min} = 437.44 \text{ m}$ (V=100 Km/h)	325 m	305 m	300 m	290 m
$R_{\min} = 806.5 \text{ m}$ (V=130 Km/h)	415 m	395 m	385 m	375 m

Dai valori ricavati e riportati in tabella possiamo concludere che per la maggior parte dei casi viene garantita la visibilità di 300m e pertanto sarà possibile applicare gli schemi già previsti dal D.M. 10/07/2002 [2]. Nei casi invece evidenziati in rosso si ritiene necessario l'utilizzo delle modifiche apportate dal presente elaborato e riportate nella figura 2.28 che prevedono l'inserimento di un ulteriore mezzo con il segnale di preavviso posto a una distanza intermedia tra il secondo segnale di preavviso già previsto e il mezzo impiegato per la chiusura della corsia.

Di seguito l'analisi della visuale impedita dalla presenza dei New Jersey nel caso di chiusura della corsia di sorpasso per un veicolo che viaggia sulla corsia di marcia.

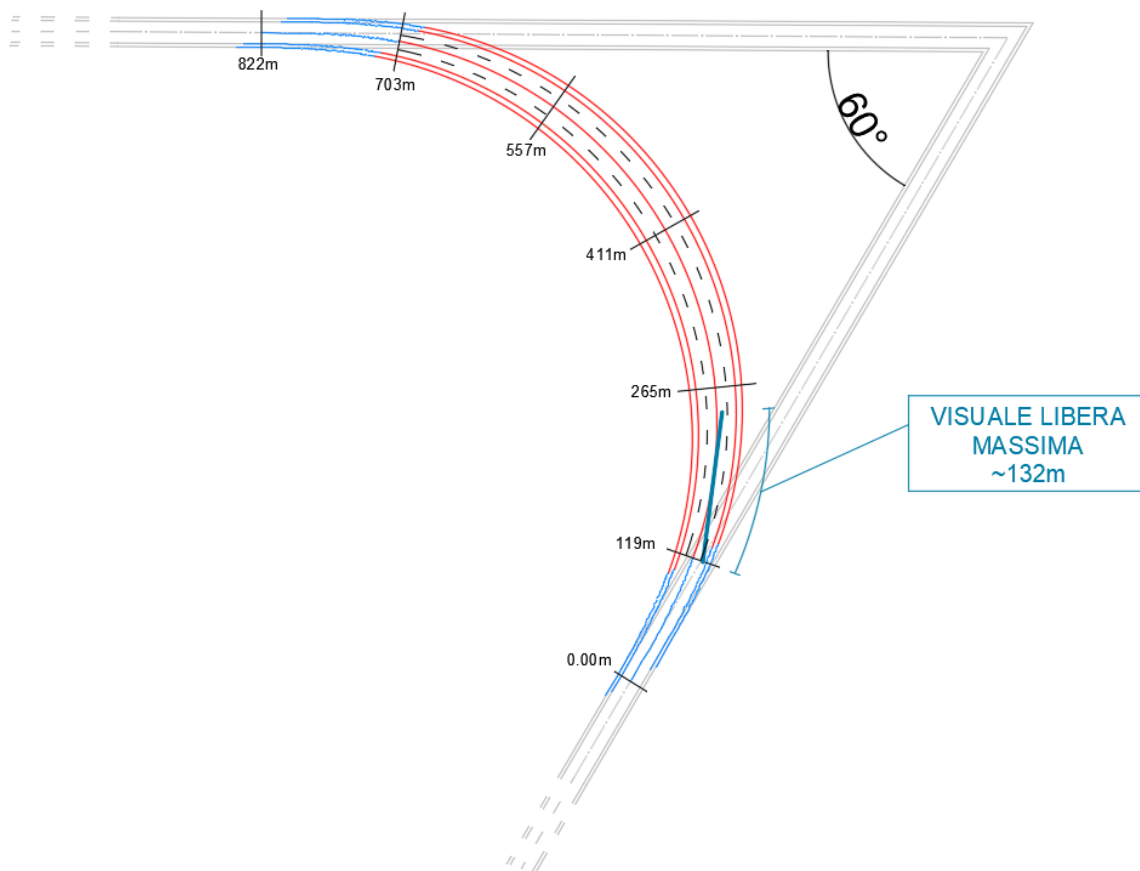


Figura 2.37: Visuale per la chiusura della corsia di sorpasso in una curva sinistrorsa - Veicolo sulla corsia di marcia - visuale impedita dai New Jersey

La tabella riepilogativa del veicolo che viaggia sulla corsia di marcia e che ha la visuale impedita dai New Jersey è la 2.6 riportata di seguito:

Tabella 2.6: Visuali libere per curva sinistrorsa con chiusura della corsia di sorpasso - Visuale impedita dall'asse stradale per veicolo che viaggia sulla corsia di Marcia

	Angolo (α)			
	60°	70°	80°	90°
$R_{\min} = 339.0 \text{ m}$ (V=90 Km/h)	132 m	130 m	127 m	127 m
$R_{\min} = 437.44 \text{ m}$ (V=100 Km/h)	152 m	150 m	142 m	142 m
$R_{\min} = 806.5 \text{ m}$ (V=130 Km/h)	195 m	191 m	187 m	187 m

Diversamente dall'analisi di un conducente sulla corsia di marcia in questo caso le distanze di visibilità sono notevolmente inferiori ed è necessaria un'ulteriore modifica agli schemi previsti. In particolare valutando i dati ricavati possiamo vedere come per raggi superiori a 800m sia ancora possibile adottare lo schema proposto in figura 2.29 che prevede l'aggiunta di un mezzo ulteriore per presegnalare la chiusura della corsia e di un carrello trainabile con dissuasore di velocità. In termini operativi si tratta di una manovra sicura ed efficiente e rappresenta una soluzione valida per mantenere sempre un segnale alla vista dei conducenti che percorrono la curva.

Diverso è il caso di curve con raggio inferiore a 800m nelle quali utilizzando lo schema di figura 2.29 non si garantisce in ogni posizione la visibilità di almeno un segnale posto sulla corsia di emergenza e pertanto si ritiene opportuna una nuova modifica che viene proposta nella figura 2.38.

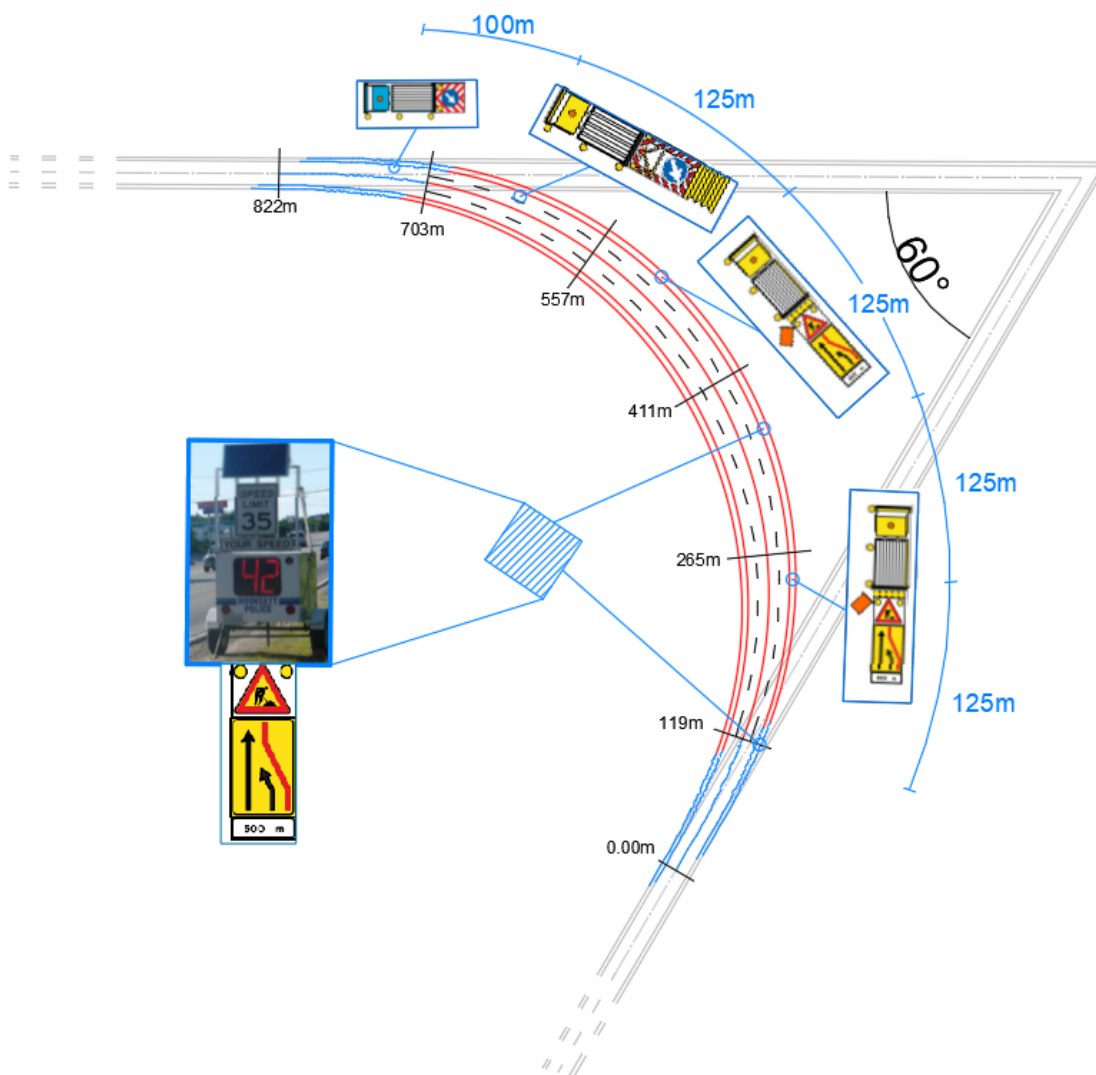


Figura 2.38: Schema modificato per cantieri con visuale libera inferiore a 167m

In termini operativi, come nel caso dello schema di figura 2.29 sarà sufficiente che i due mezzi impiegati per il preavviso portino con sé i carrelli trainabili con dissuasore. La fase di rimozione è quella più delicata e richiede che per un breve tratto entrambi i mezzi percorrano in retromarcia la corsia di emergenza fino al raggiungimento del carrello trainabile. Tuttavia,

si ritiene che tale soluzione sia la più efficiente e sicura poichè permetterebbe ai conducenti di avere nella propria visuale sempre un mezzo a richiamare l'attenzione durante la percorrenza della curva.

Per quanto riguarda il caso dell'auto rappresentata in blu (Fig. 2.35), il conducente vedendo una fila di auto verdi procedere a velocità moderata potrebbe pensare di superarle rimanendo quindi sulla corsia di sorpasso. Questo caso non è assolutamente un esempio limite, il problema della posizione dei segnali di preavviso sulla corsia di emergenza rappresenta un pericolo serio per i veicoli che viaggiano a velocità sostenuta sulla corsia di sorpasso. Nel caso di cantieri fissi il D.M. 10/7/2002 [2] prevede la ripetizione dei segnali di preavviso anche sullo spartitraffico ma ovviamente per i cantieri mobili ciò non è possibile in termini operativi a causa dei continui spostamenti durante la giornata. Nell'esempio in figura si è valutata la visibilità nel caso di presenza dei New Jersey che ne impediscono la vista ma sono stati ricavati anche i valori per una visuale al di sopra delle protezioni poste a separazione delle carreggiate. La visibilità per l'auto blu è stata valutata partendo dalla sua posizione e guardando sulla stessa corsia di sorpasso nella quale è posto il mezzo che chiude la corsia. Si riporta di seguito un solo modello da esempio, la restante parte al variare dei parametri geometrici viene riportata nell'appendice C.

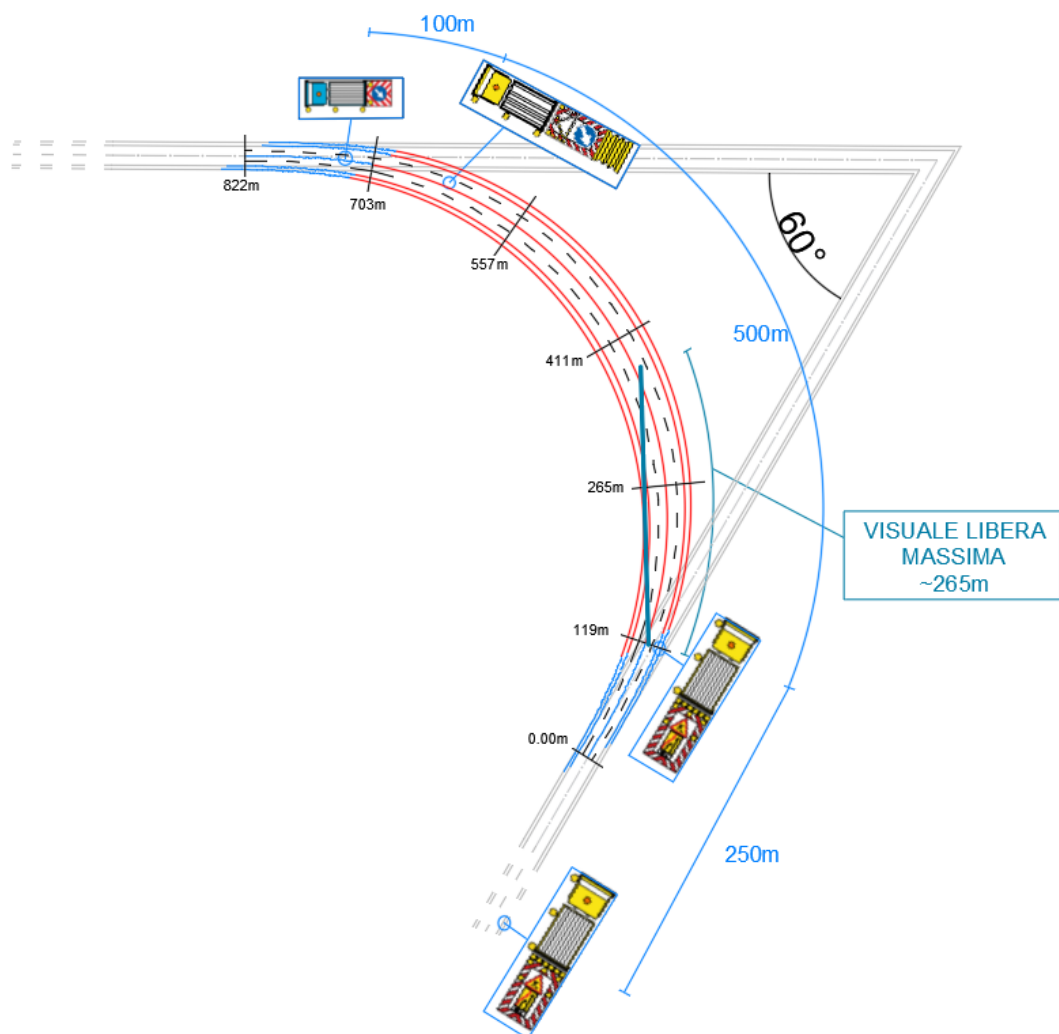


Figura 2.39: Visuale per la chiusura della corsia di sorpasso in una curva sinistrorsa - Veicolo sulla corsia di sorpasso - visuale al di sopra dei New Jersey

La tabella riepilogativa del veicolo che viaggia sulla corsia di sorpasso e che ha la visuale impedita dai New Jersey è la 2.7:

Tabella 2.7: Visuali libere per curva sinistrorsa con chiusura della corsia di sorpasso - Visuale al di sopra dei New Jersey per veicolo che viaggia sulla corsia di Sorpasso

	Angolo (α)			
	60°	70°	80°	90°
$R_{\min} = 339.0 \text{ m}$ (V=90 Km/h)	265 m	256 m	247 m	235 m
$R_{\min} = 437.44 \text{ m}$ (V=100 Km/h)	296 m	279 m	269 m	265 m
$R_{\min} = 806.5 \text{ m}$ (V=130 Km/h)	380 m	366 m	354 m	347 m

Come per il caso di un veicolo che viaggia sulla corsia di sorpasso, per la maggior parte dei casi viene garantita la visibilità di 300m e pertanto sarà possibile applicare gli schemi già previsti dal D.M. 10/07/2002 [2]. Nei casi invece evidenziati in rosso si ritiene sufficiente l'utilizzo delle modifiche apportate dal presente elaborato e riportate nella figura 2.28 che prevedono l'inserimento di un ulteriore mezzo con il segnale di preavviso posto a una distanza intermedia tra il secondo segnale di preavviso già previsto e il mezzo impiegato per la chiusura della corsia.

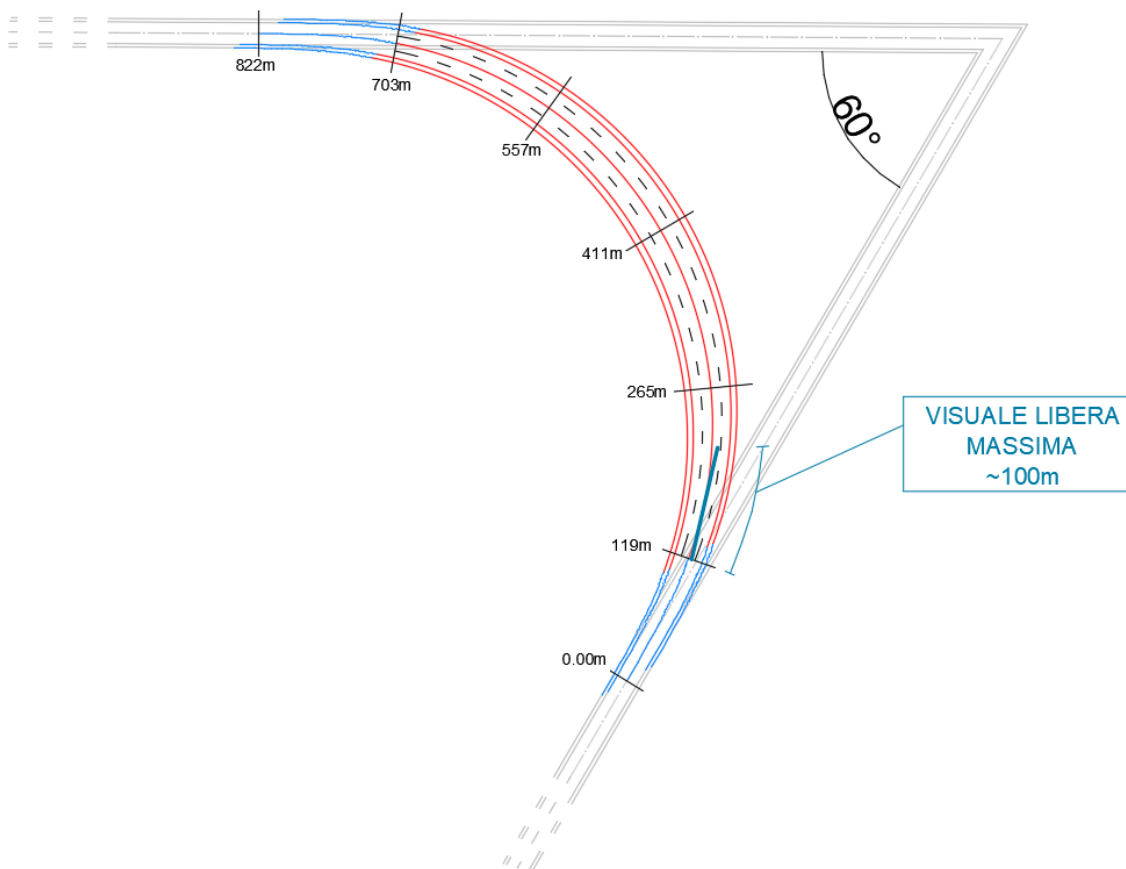


Figura 2.40: Visuale per la chiusura della corsia di sorpasso in una curva sinistrorsa - Veicolo sulla corsia di sorpasso - visuale impedita dai New Jersey

In definitiva poi nella figura 2.38 sono stati raccolti i valori di visibilità per una curva sinistrorsa con chiusura della corsia di sorpasso e visuale impedita dalla presenza dei New Jersey.

Tabella 2.8: Visuali libere per curva sinistrorsa con chiusura della corsia di sorpasso - Visuale impedita dai New Jersey per veicolo che viaggia sulla corsia di Sorpasso

	Angolo (α)			
	60°	70°	80°	90°
$R_{\min} = 339.0 \text{ m}$ (V=90 Km/h)	100 m	95 m	90 m	87 m
$R_{\min} = 437.44 \text{ m}$ (V=100 Km/h)	112 m	103 m	100 m	100 m
$R_{\min} = 806.5 \text{ m}$ (V=130 Km/h)	138 m	137 m	136 m	134 m

Infine per i valori riportati nella tabella 2.8 vediamo come in tutti i casi non sia possibile applicare gli schemi già previsti e sia necessario l'impiego della proposta riportata in figura 2.38 nonostante per alcuni dei casi analizzati non sia garantita neanche la visibilità di 125m. In queste situazioni un alternativa potrebbe essere quella di ridurre ulteriormente la velocità di marcia riportata sui dissuasori in modo tale da evitare manovre errate da parte dei conducenti.

2.3.5 Analisi di una curva destrorsa

L'analisi di una curva destrorsa non si discosta troppo dalle situazioni già analizzate nel caso di curva sinistrorsa ma vale la pena studiarla per ricavare le distanze di visibilità anche in questo caso. Innanzi tutto bisogna fare una distinzione tra chiusura della corsia di marcia e di sorpasso, queste seppur danno distanze di visibilità molto simili, presentano uno schema segnaletico differente. Come abbiamo già visto infatti, nel caso di chiusura della corsia di sorpasso, anche a causa del fatto che in questa corsia si viaggia a velocità maggiori vengono previsti due mezzi per la segnalazione del preavviso di chiusura corsia. Risulta pertanto una condizione più sicura per i conducenti ma anche per gli operai che eventualmente devono lavorare a terra.

Chiusura della corsia di marcia

Riportiamo prima di tutto uno schema rappresentativo del comportamento che un conducente distratto potrebbe adottare nel caso di chiusura della corsia di marcia (Fig. 2.41).

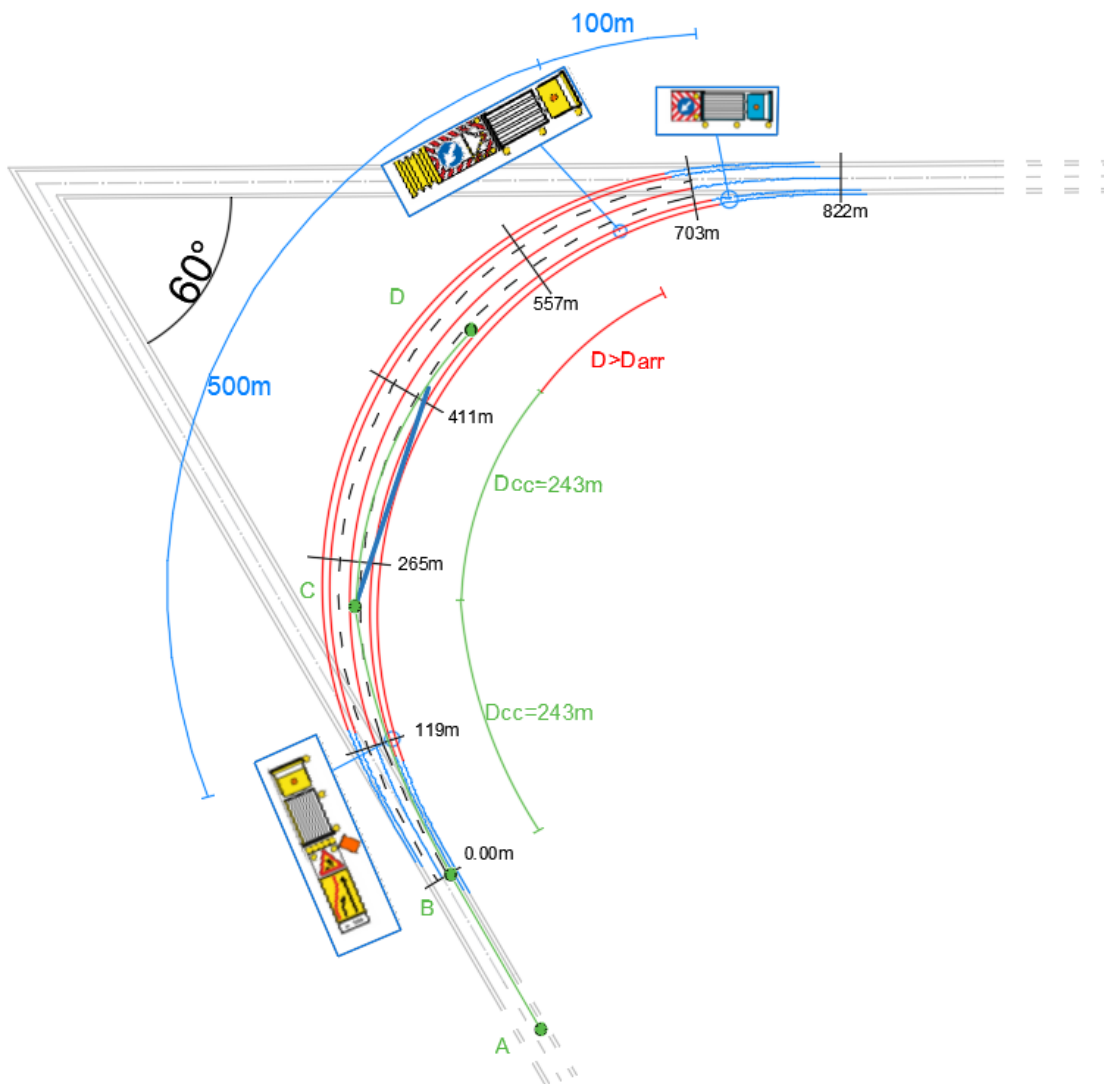


Figura 2.41: Comportamento di un conducente distratto nel caso di curva destrorsa - Chiusura della corsia di marcia

Così come fatto nella curva sinistrorsa, un comportamento limite che potrebbe verificarsi in caso di visibilità limitata è quello di un conducente che viaggia sul rettilineo (Punto A) e quando arriva nei pressi della curva (Punto B), vedendo il mezzo che segnala la chiusura della corsia, inizia la manovra per spostarsi sulla corsia di sorpasso che conclude nel punto C. Nel momento in cui si trova nella corsia di sorpasso, non vedendo dove effettivamente la corsia di marcia viene chiusa (come evidenziato dalla linea blu), potrebbe erroneamente essere portato a ritornare nella corsia di marcia (Punto D). In questa situazione si ritroverebbe a non avere più lo spazio necessario a cambiare nuovamente corsia prima di arrivare al mezzo che la chiude ma avrebbe comunque la possibilità di arrestare il veicolo. Bisogna precisare però che nel caso analizzato egli inizia la manovra di cambio corsia ancora prima di superare il segnale di preavviso, se ciò non avviene, lo spazio a disposizione alla fine di tutte le manovre ipotizzate potrebbe diventare ancora minore di quello necessario ad arrestare il veicolo.

Sono stati ricavati pertanto i valori di visuale libera per un conducente che si trova sulla corsia di sorpasso e che guarda sulla corsia di marcia dove viene posizionato il mezzo che la chiude. Si riporta uno schema da esempio con il valore di visuale libera per una curva destrorsa con angolo tra i rettilineo di 60° percorribile a 90 Km/h (Fig. 2.42):

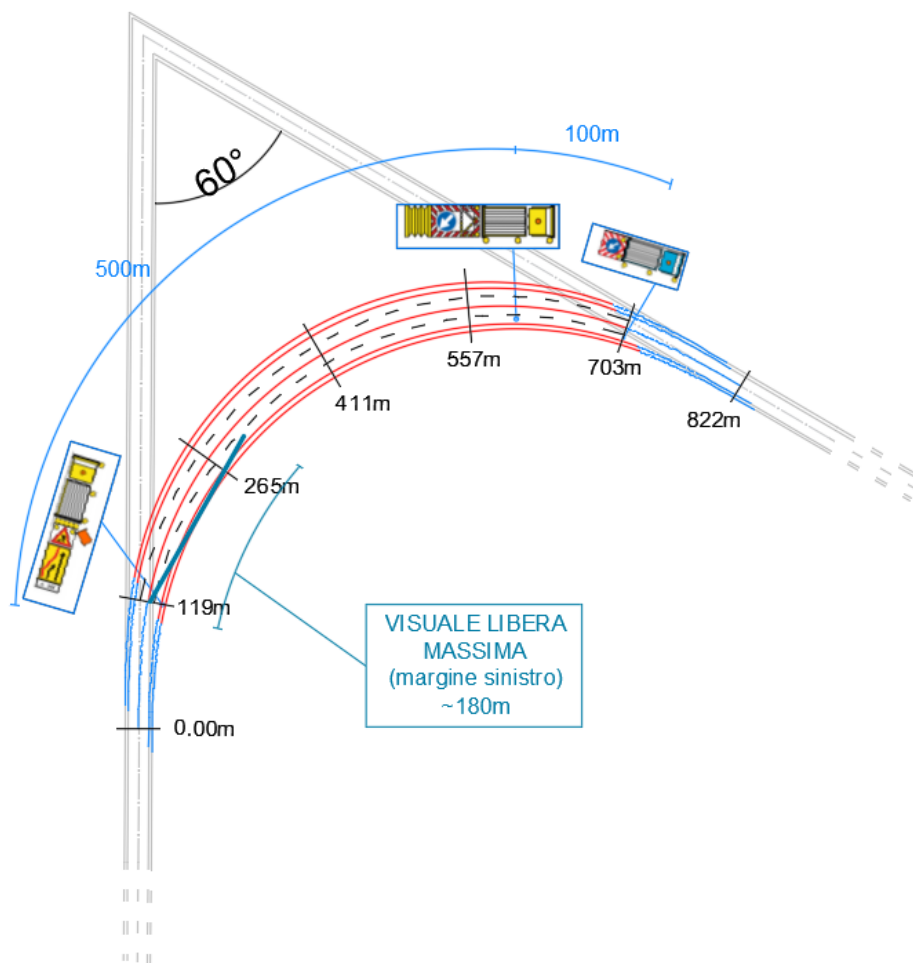


Figura 2.42: Visuale per la chiusura della corsia di marcia in una curva destrorsa

Tutti i casi analizzati al variare dei parametri geometrici sono stati inseriti nell'appendice D alla fine dell'elaborato. In definitiva si riporta la tabella riepilogativa che racchiude tutti i casi analizzati (Tab. 2.9):

Tabella 2.9: Visuali libere per curva destrorsa con chiusura della corsia di marcia - Visuale impedita dai ritegni laterali per veicolo che viaggia sulla corsia di Sorpasso

	Angolo (α)			
	60°	70°	80°	90°
$R_{\min} = 339.0 \text{ m}$ (V=90 Km/h)	180 m	170 m	165 m	165 m
$R_{\min} = 437.44 \text{ m}$ (V=100 Km/h)	205 m	195 m	185 m	185 m
$R_{\min} = 806.5 \text{ m}$ (V=130 Km/h)	262 m	252 m	243 m	235 m

Nel caso in esame notiamo come per tutte le situazioni analizzate non si raggiunge mai una visibilità tale da permettere di adottare gli schemi già previsti dal D.M. 10/07/2002 [2] (300m). Tuttavia, tutti i valori sono superiori se non prossimi ai 167m previsti dallo schema segnaletico proposto all'interno di questo elaborato alla figura 2.29. Si ritiene utile in questo senso andare ad impiegare proprio questo schema segnaletico per l'allestimento di cantieri mobili in una curva destrorsa con chiusura della corsia di marcia.

Chiusura della corsia di sorpasso

Come già visto nel caso della curva sinistrorsa, per la chiusura della corsia di sorpasso si aprono due strade (Fig. 2.43):

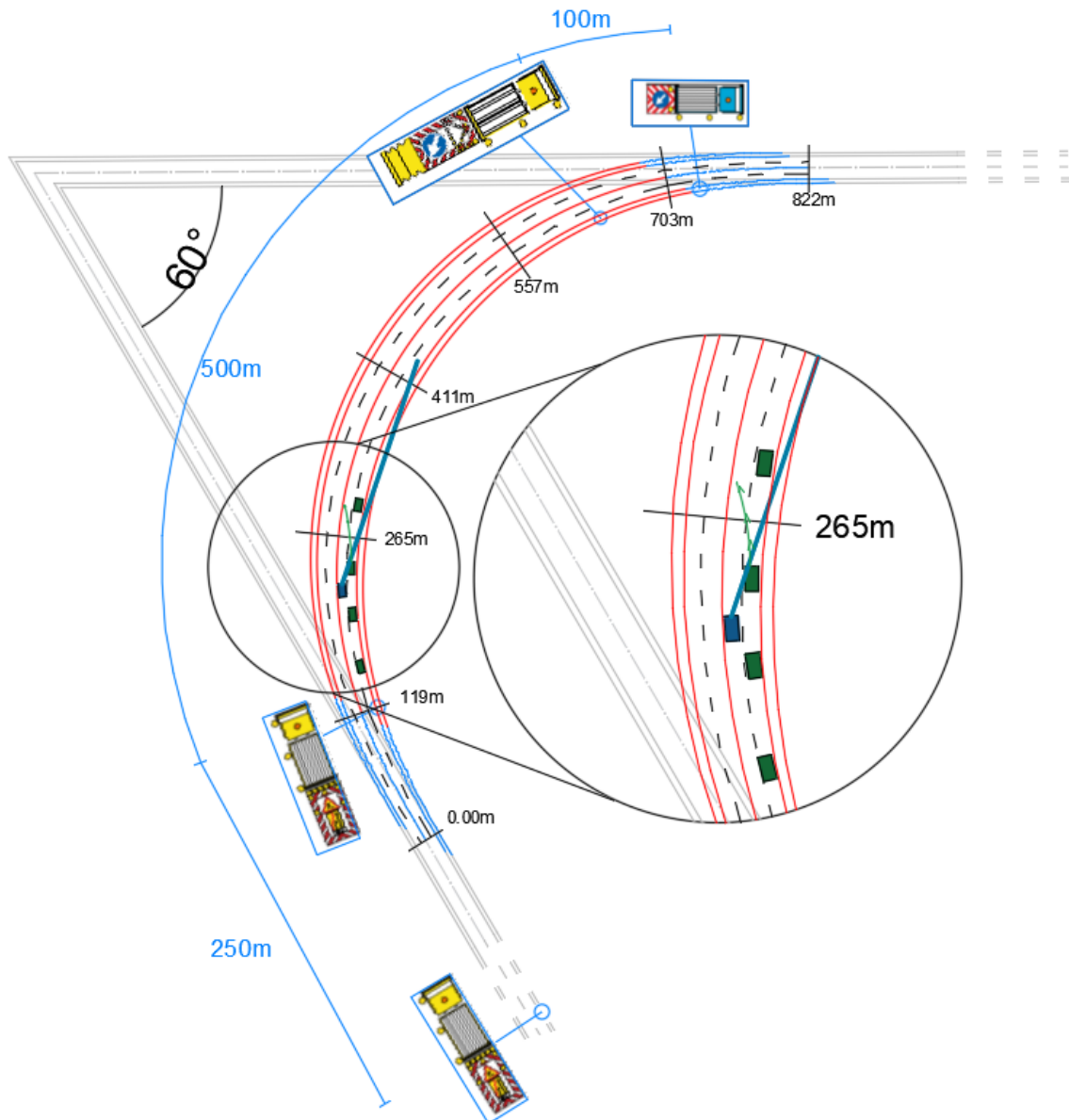


Figura 2.43: Comportamenti errati nel caso di chiusura della corsia di sorpasso per curva destrorsa

La prima è quella del veicolo in blu che viaggiando ad alte velocità potrebbe non accorgersi dei segnali di preavviso e proseguire sulla corsia di sorpasso superando i veicoli che giustamente viaggiano sulla corsia di marcia. La seconda invece è quella di uno dei veicoli in verde che non vedendo dove effettivamente la corsia di marcia venga chiusa potrebbe pensare di tentare il sorpasso su un veicolo che lo precede. Le due situazioni sono state rappresentate nel dettaglio nelle figure 2.44 e 2.45

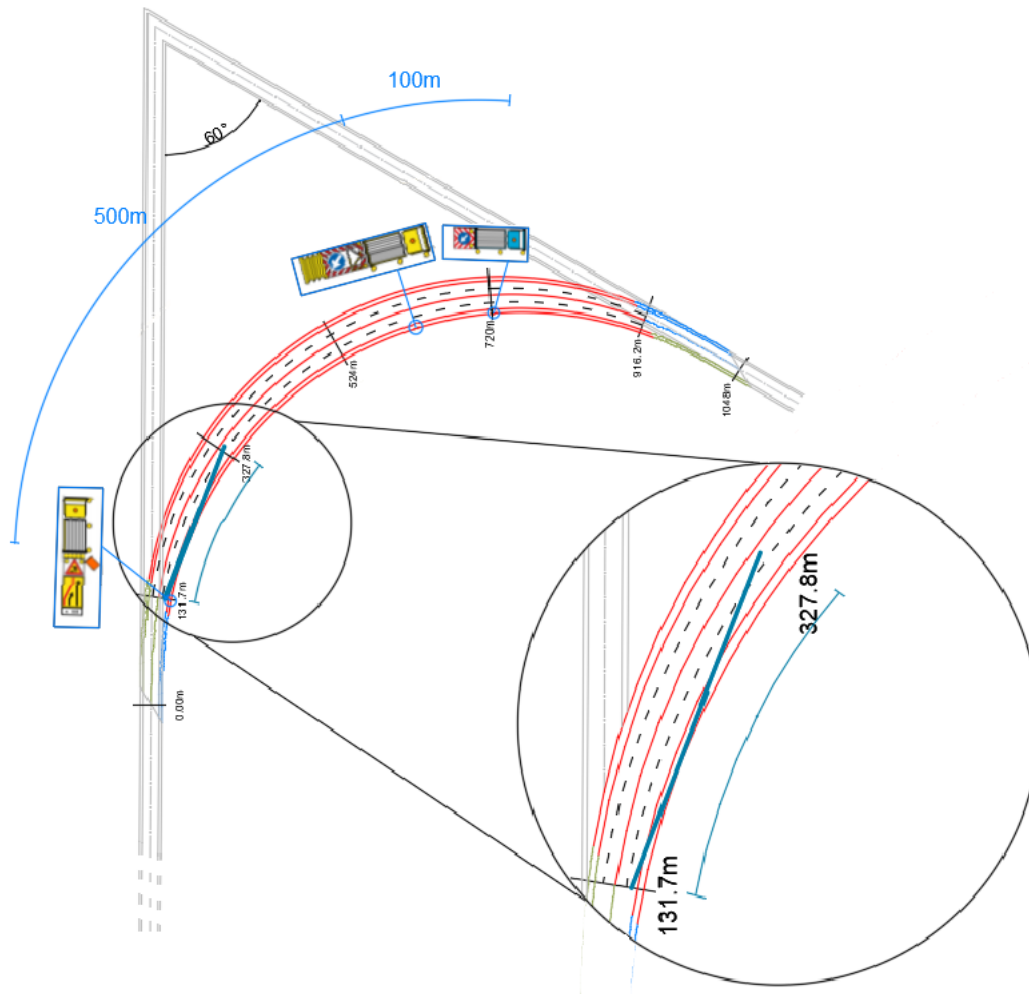


Figura 2.44: Visuale per la chiusura della corsia di sorpasso in una curva destrorsa per un veicolo che viaggia sulla corsia di marcia

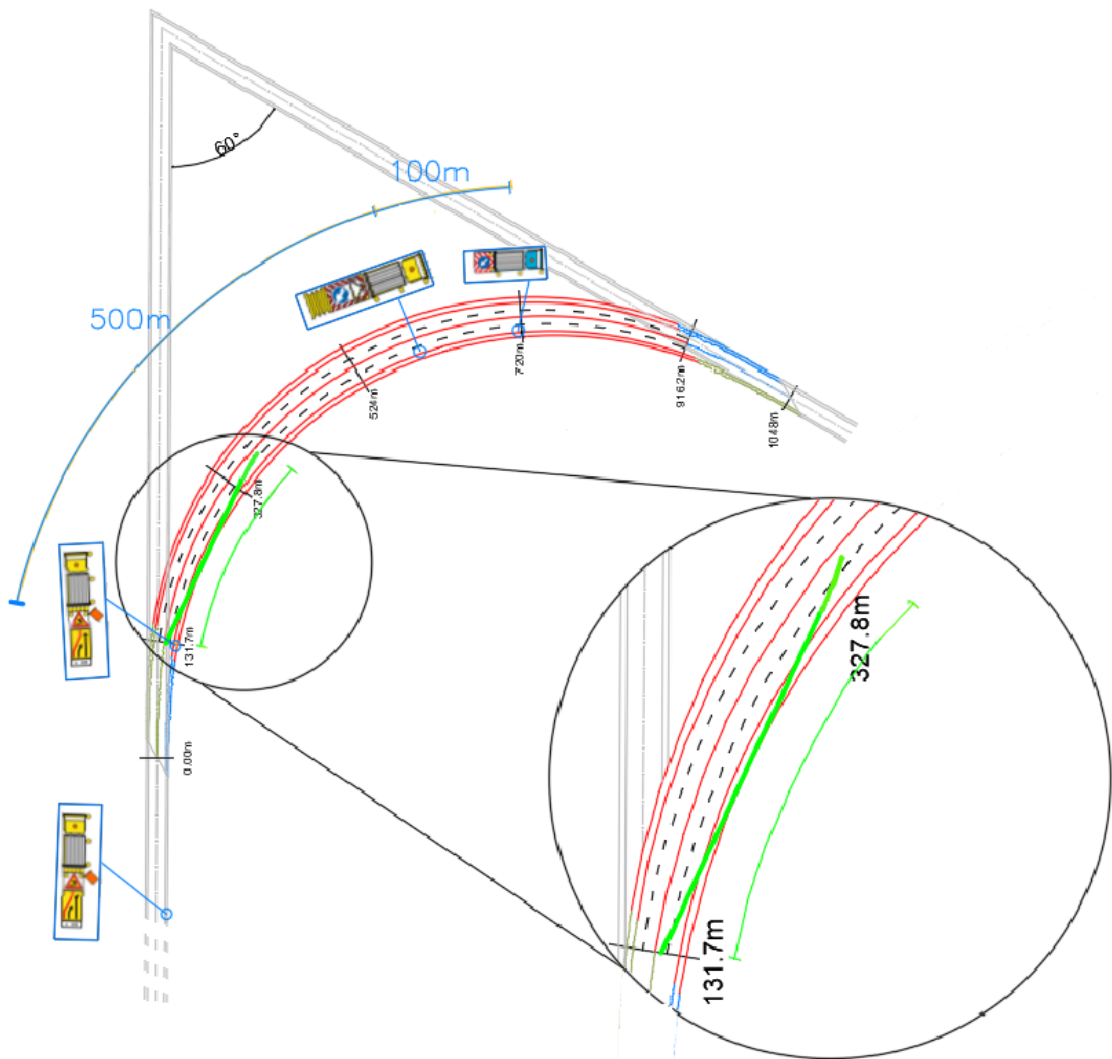


Figura 2.45: Visuale per la chiusura della corsia di sorpasso in una curva destrorsa per un veicolo che viaggia sulla corsia di sorpasso

Come per la curva sinistrorsa valgono tutte le considerazioni fatte in merito alla visuale impedita dai New Jersey, le visuali sono minori a causa del fatto che si sta assumendo che alla destra della banchina ci siano ostacoli visivi che ne impediscono la vista attraverso i guardrail. La visuale tracciata con la linea verde per la figura 2.45 e blu per la 2.44, sono tangenti all'arco esterno della curva, nonostante spesso le protezioni laterali della carreggiata sono più basse di 1,2m considerato per i New Jersey.

Pertanto si riporta di seguito uno schema nel quale viene valutata la visuale libera per un conducente che viaggia sulla corsia di marcia e guarda alla chiusura della corsia di sorpasso come mostrato in figura 2.44:

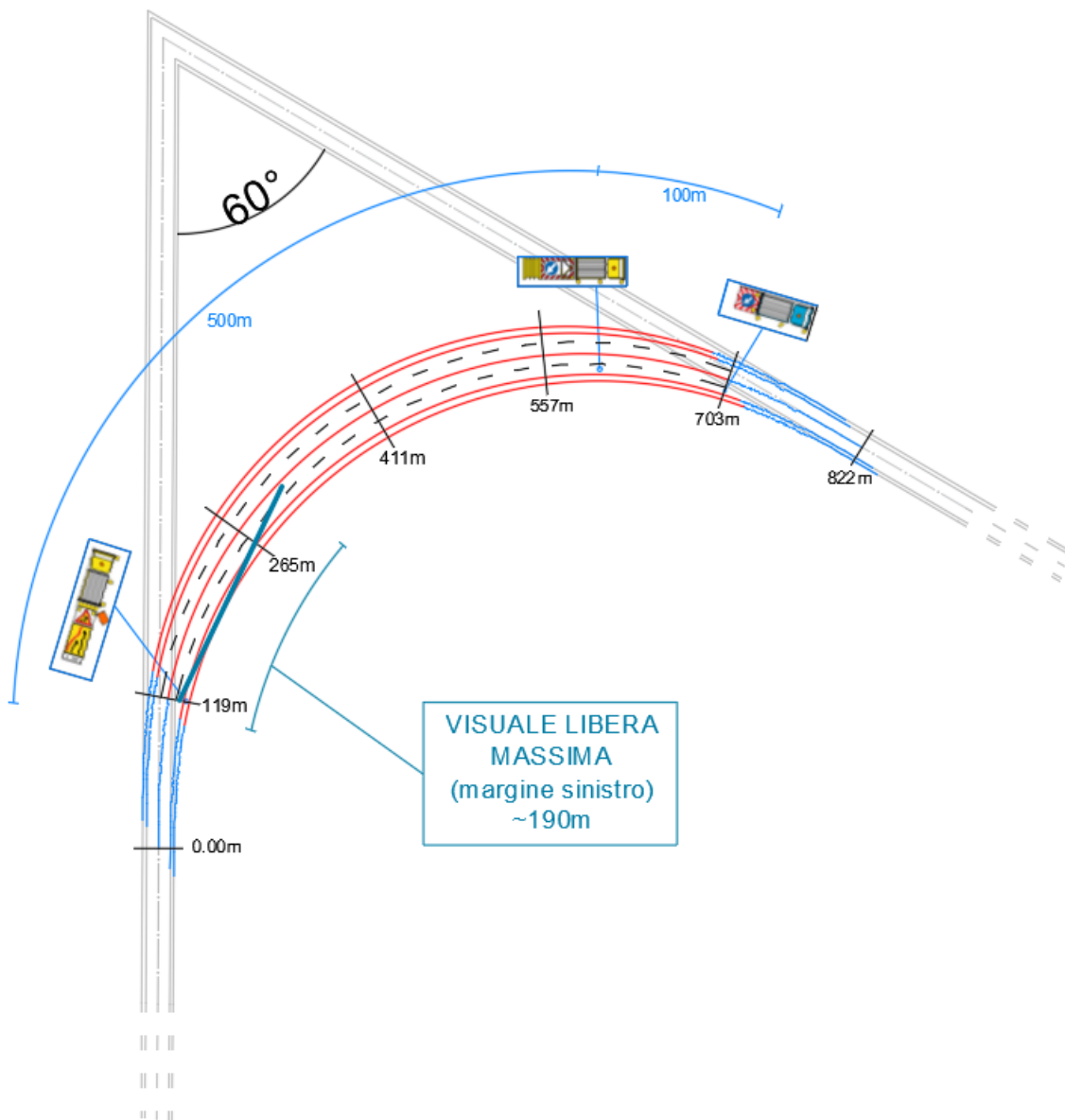


Figura 2.46: Visuale per la chiusura della corsia di sorpasso in una curva destrorsa per un veicolo che viaggia sulla corsia di marcia - 60° - 90 Km/h

Tutti i casi analizzati al variare dei parametri geometrici sono stati inseriti nell'appendice D alla fine dell'elaborato. In definitiva si riporta la tabella riepilogativa contenente tutte le visuali libere per il caso appena analizzato:

Tabella 2.10: Visuali libere per curva destrorsa con chiusura della corsia di sorpasso - Visuale impedita dalle barriere laterali per veicolo che viaggia sulla corsia di marcia

	Angolo (α)			
	60°	70°	80°	90°
$R_{\min} = 339.0 \text{ m}$ (V=90 Km/h)	190 m	180 m	170 m	165 m
$R_{\min} = 437.44 \text{ m}$ (V=100 Km/h)	211 m	202 m	190 m	190 m
$R_{\min} = 806.5 \text{ m}$ (V=130 Km/h)	265 m	252 m	250 m	247 m

Anche in questo caso tutti i valori sono inferiori a 300m ma superiori a 167m, si ritiene

una possibilità valida quella di utilizzare lo schema proposto nella figura 2.29.

Nella figura 2.45 la visuale indicata con la linea verde viene valutata dalla corsia di sorpasso guardando alla stessa corsia mediante una linea tangente alle barriere laterali della carreggiata. In questa situazione, essendo due i mezzi che preavvisano la chiusura della corsia, il pericolo di incorrere in errori potrebbe considerarsi minore. Non bisogna dimenticare però che all'interno della curva stessa la visibilità è limitata e pertanto non si deve escludere nessuna eventualità. Soprattutto nel caso della figura 2.45 dove si valuta un veicolo che si trova sulla corsia di sorpasso e potrebbe non vedere i messi posti sulla corsia di emergenza con i segnali di preavviso.

Si riporta allora un modello rappresentativo del caso di chiusura della corsia di sorpasso per un veicolo che viaggia sulla corsia di sorpasso in una curva destrorsa:

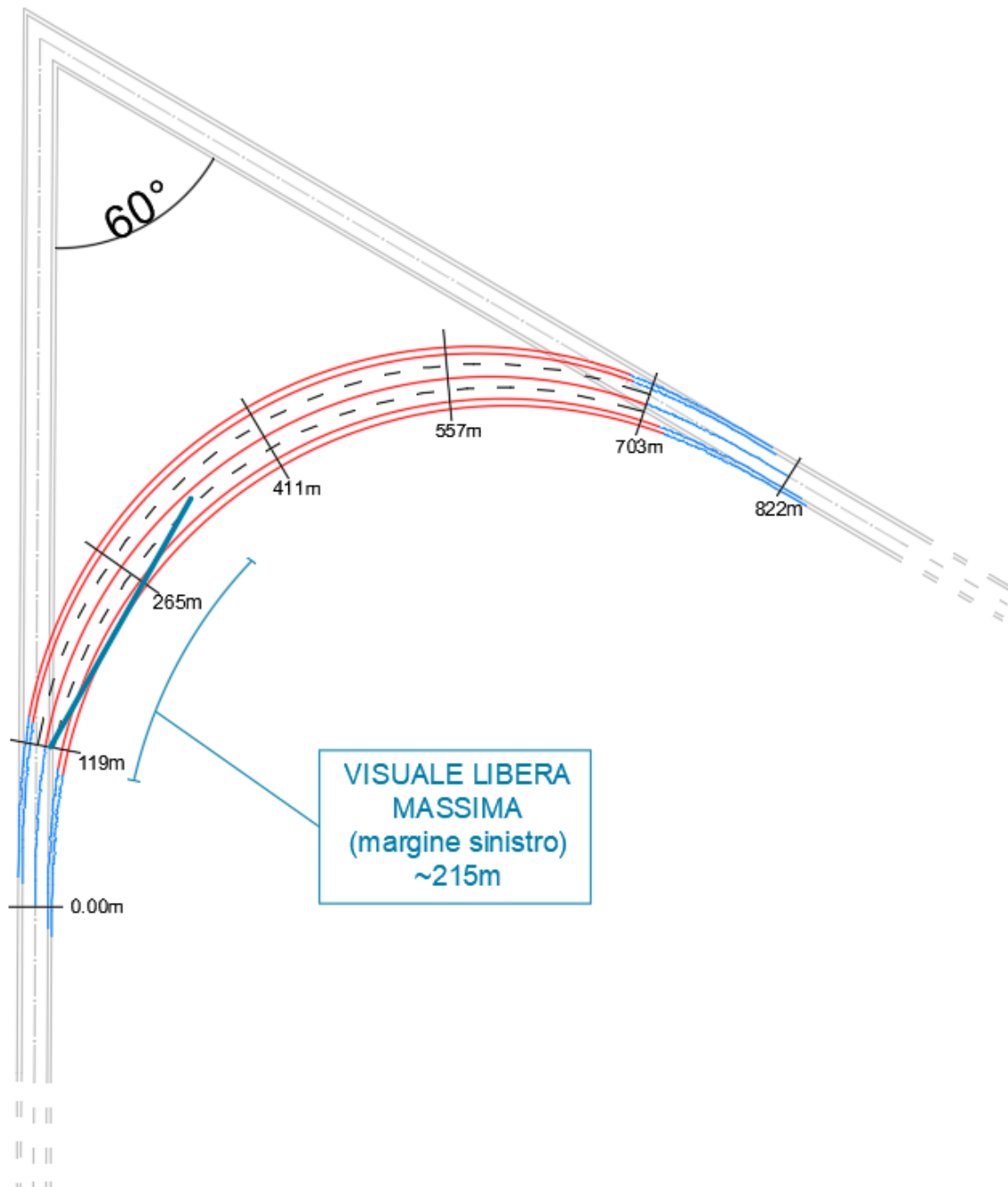


Figura 2.47: Visuale per la chiusura della corsia di sorpasso in una curva destrorsa per un veicolo che viaggia sulla corsia di sorpasso - 60° - 90 Km/h

Tutti i casi analizzati al variare dei parametri geometrici sono stati inseriti nell'appendice D alla fine dell'elaborato. In definitiva anche la tabella conclusiva che racchiude tutti i valori del caso in esame (Tab. 2.11):

Tabella 2.11: Visuali libere per curva destrorsa con chiusura della corsia di sorpasso - Visuale impedita dalle barriere laterali per veicolo che viaggia sulla corsia di sorpasso

	Angolo (α)			
	60°	70°	80°	90°
$R_{\min} = 339.0 \text{ m}$ (V=90 Km/h)	215 m	202 m	200 m	190 m
$R_{\min} = 437.44 \text{ m}$ (V=100 Km/h)	237 m	231 m	220 m	215 m
$R_{\min} = 806.5 \text{ m}$ (V=130 Km/h)	302 m	291 m	288 m	277 m

Dalla tabella 2.11 vediamo come in un solo caso venga rispettato il minimo riportato nel D.M. 10/07/2002 [2] di 300m di visibilità per i segnali e in tutti i restanti ciò non è garantito. Nel caso in esame però sarà sufficiente adottare lo schema proposto nella figura 2.29 che vede una distanza tra un segnale e l'altro di 167m che vengono abbondantemente superati da tutti i casi analizzati.

Con questo si conclude la trattazione della visibilità nel caso di curve a raggio ristretto, si è cercato per quando possibile di mostrare tutte le criticità che possono interessare i cantieri che si trovano in posizione di scarsa visibilità. Tuttavia, non è possibile andare a ricavare le visuali libere per tutti i casi possibili poichè sono variegati e soprattutto non tutte le strade hanno le stesse caratteristiche geometriche di quelle adottate in questo elaborato. Il consiglio che si vuole dare in questa sede è sempre quello di valutare accuratamente quelli che sono i parametri geometrici della curva che si deve incontrare nella lavorazione e di calcolare la visibilità a disposizione dei conducenti. Dopo di che decidere se è necessario modificare gli schemi come proposto nelle figure 2.29 e 2.38 o mantenere gli schemi standard con la modifica dell'aggiunta di un segnale di preavviso in più ad una distanza intermedia come previsto dal D.M. 10/07/2002 [2]. La soluzione proposta (Fig. 2.29), seppur banale consente di utilizzare l'attrezzatura e le modalità già ben consolidate all'interno dell'azienda, si potrebbero pensare soluzioni più innovative che comunque richiederebbero studi più accurati e valutazioni da parte del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

2.4 Analisi della visibilità altimetrica

In ambienti geografici caratterizzati da colline o montagne ma non solo, capita spesso di imbattersi in autostrade che vedono il profilo altimetrico variare notevolmente. I dossi e le sacche, così come le curve, rappresentano un'ostacolo molto pericoloso per la visibilità dei conducenti e pertanto richiedono un'attenta valutazione per non incorrere in incidenti. In questo capitolo, analizzeremo con rigore la visibilità nelle immediate vicinanze di un dosso naturale lungo un'arteria autostradale, analizzando approfonditamente i rischi incombenti derivanti da un campo visivo ridotto. Proporranno altresì soluzioni e misure da adottare per garantire una guida sicura, coscienziosa e lineare in tali aree stradali peculiari.

2.4.1 Riferimenti normativi vigenti

Così come per le curve, anche in questo caso non sono disponibili riferimenti normativi adeguati all'eventuale presenza di ostacoli visivi per il cantiere autostradale. Rimangono pertanto valide le considerazioni e le disposizioni già riportate nella sezione precedente con la differenza che, se nel caso delle curve la visibilità può non essere totalmente compromessa in tutti i casi, nell'ambito della valutazione della visibilità nei pressi di un dosso un'analisi approfondita è imprescindibile poichè l'ostacolo in questo caso è rappresentato dalla strada stessa.

2.4.2 Progettazione di un raccordo altimetrico

Il profilo altimetrico è costituito da tratti a pendenza costante (livellette) collegati da raccordi verticali convessi e concavi anche detti dossi e sacche. Il D.M. 5 Novembre 2001 [14] fornisce un supporto tecnico per progettare e verificare questo tipo di raccordo e prevede dei limiti da rispettare nella realizzazione delle autostrade. Per quanto riguarda la pendenza delle livellette sono previsti dei limiti in funzione della tipologia di strada:

Figura 2.48: Pendenze limite per le livellette

Tali valori sono modificabili qualora da una verifica più approfondita si ritiene che lo sviluppo della livelletta sia tale da non ostacolare eccessivamente la circolazione degli utenti. Nell'ambito della nostra analisi però manterremo invariati tali valori e come al solito ci riferiremo ai limiti imposti nella costruzione dei nostri modelli.

2.4.3 Raccordi verticali

A differenza delle curve, un raccordo verticale è formato da un solo elemento parabolico il cui sviluppo è definito in questo modo:

$$L = Rv * \frac{\Delta i}{100} \quad (2.15)$$

Δi = variazione percentuale delle livellette da raccordare;

Rv = Raggio del cerchio osculatore nel vertice della parabola.

Figura 2.49: Rappresentazione di dossi e sacche tra le livellette

È possibile determinare analiticamente la funzione che definisce un raccordo altimetrico, è un'equazione di secondo grado con parametri "a" e "b" che dipendono dalla geometria già definita ma non si ritiene necessario in questa sede entrare nel dettaglio.

Il valore minimo del raggio R_v , che definisce la lunghezza del raccordo, deve essere determinato in modo da garantire:

- che nessuna parte del veicolo (eccetto le ruote) abbia contatti con la superficie stradale:
 - $R_v \geq R_{vmin} = 20m$ nei dossi
 - $R_v \geq R_{vmin} = 40m$ nelle sacche
- che per il comfort dell'utenza l'accelerazione verticale a_v non superi il valore a_{lim} :

$$a_v = \frac{V_p^2}{R_v} \geq a_{lim} \quad (2.16)$$

V_p = velocità di progetto [m/s]

$a_{lim} = 0,6[m/s^2]$

- che vengano garantite le visuali libere di cui al paragrafo 2.2.1

2.4.4 Raccordi verticali convessi - Dossi

Nel caso di raccordi convessi si configurano due casi differenti:

D= Distanza di visibilità da garantire

L= Lunghezza del raccordo

- $D < L$:

$$(2.17)$$

- $D > L$:

$$(2.18)$$

Posto $h_1=1,1m$ che rappresenta l'altezza del conducente, si hanno due possibilità differenti:

- $h_2=0,1$ se si deve valutare la distanza di visibilità per l'arresto
- $h_2=1,1$ se si deve valutare la distanza di visibilità per il sorpasso

Questi abachi sono funzionali nella progettazione dei raccordi altimetrici e non permettono la valutazione della visibilità nei casi di interesse pertanto è necessario innanzi tutto costruire i raccordi altimetrici e su questi valutarne la visibilità attraverso un software di rappresentazione grafica così come si è fatto con le curve.

Per quanto riguarda la costruzione del raccordo si è scelto come al solito di imporre i valori limite da normativa e valutare su questi la visibilità che si riesce a garantire. Pertanto si riporta di seguito una tabella riepilogativa di tutti i parametri e le relative verifiche richieste.

Pertanto costruendo due livellette con pendenza del 5% con un raggio del cerchio osculatore appena superiore del valore minimo vengono rispettate tutte le verifiche richieste ma la nostra attenzione si è concentrata sulla distanza di visibilità che questa costruzione permette.

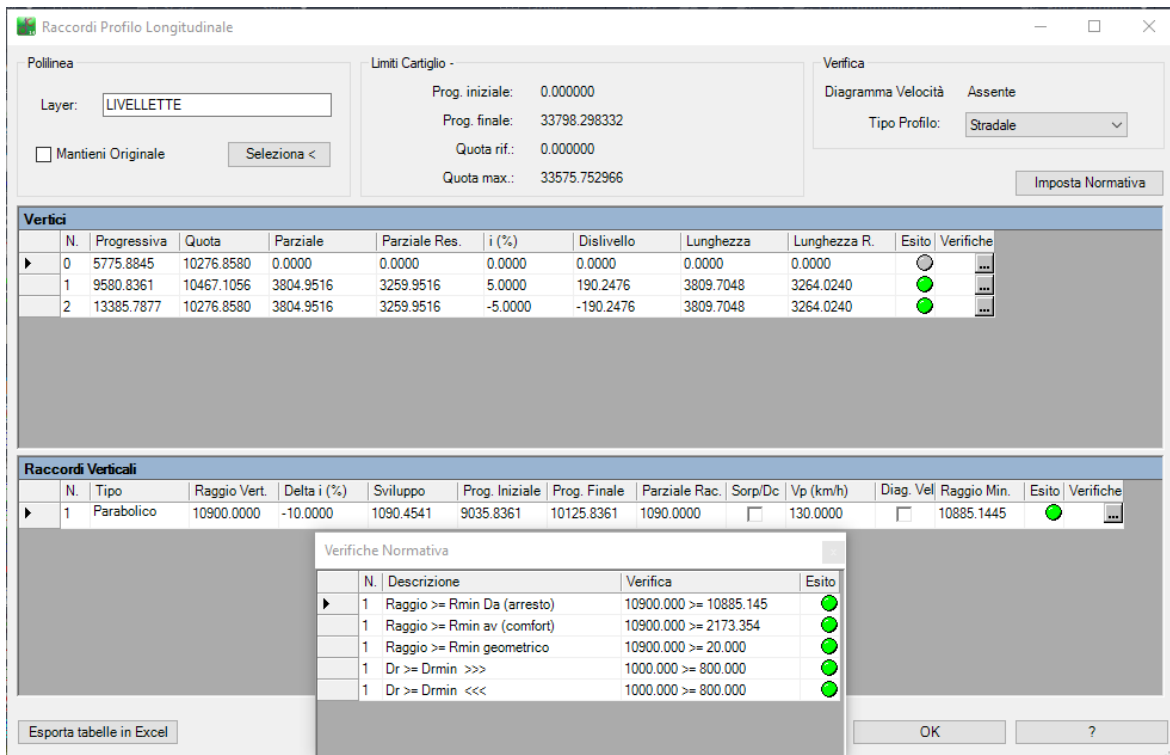


Figura 2.50: Parametri geometrici del raccordo

Come si evince, considerando una differenza di pendenza massima del 10% e una velocità di percorrenza di 130km/h risulta un raggio minimo di 10885,1m che approssimato a 10900m rappresenta una condizione limite per un raccordo altimetrico in ambito autostradale.

Le verifiche richieste, come riportato nella tabellina in basso della figura 2.50, valutano l'arresto e il comfort di guida necessario ad assicurare la sicurezza dei conducenti. Nel caso del raggio minimo geometrico, il valore minimo di 20m è ampiamente superato nel caso delle autostrade, si tratta di un valore che più si avvicina a quelli trovati nelle strade urbane o extraurbane principali soprattutto in zone montane che presentano dossi e avvallamenti notevolmente più pericolosi.

Procedendo pertanto al disegno del raccordo si può valutare la visibilità massima per queste condizioni. Prima di fare ciò però si devono definire le altezze caratteristiche dei soggetti interessati. Per quanto riguarda il conducente come al solito la normativa richiede un'altezza di 1,1m come punto di vista all'interno dell'abitacolo della macchina, mentre il mezzo sul quale viene posta la segnaletica del cantiere presenta le seguenti dimensioni (Fig. 2.51):

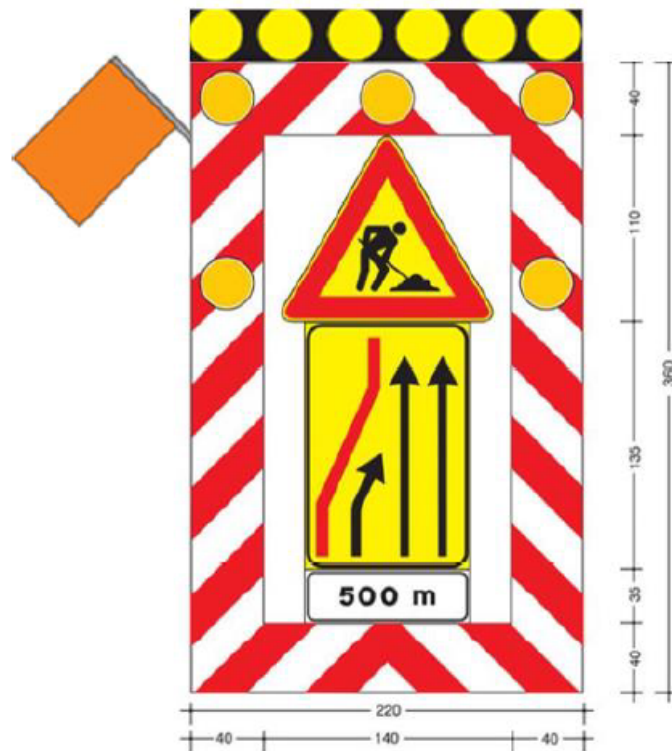


Figura 2.51: Dimensioni del mezzo segnalatore

Si riporta di seguito pertanto un disegno che rappresenta la situazione analizzata (Fig. 2.54), bisogna precisare che ovviamente i mezzi interessati non sono rappresentati in scala per una visione più chiara ma che le distanze calcolate fanno riferimento a una costruzione del modello precisa ma difficilmente rappresentabile con una visione chiara della situazione.

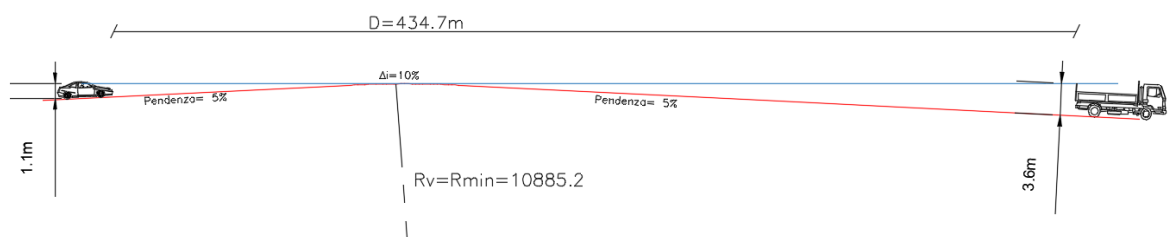


Figura 2.52: Distanza di visibilità relativa ai parametri minimi

Dalla tangente al cerchio osculatore del raccordo verticale si è tracciato un tratto orizzontale che è servito da guida per il posizionamento dei due veicoli, da questo poi si è misurata la distanza tra gli stessi ed è stata riportata nel disegno. Come si vede per una situazione come questa si ottiene una visibilità massima di 434,7m, che risulta inferiore alla distanza massima che si trova tra due segnali consecutivi negli schemi segnaletivi ma è comunque maggiore del minimo richiesto dal D.M. 10/07/2002 [2] di 300m. In ogni caso però come si è fatto con la visibilità planimetrica si è proceduto aumentando i parametri geometrici fino ad arrivare alla condizione tale da garantire una visibilità di 500m e sono stati ottenuti i risultati seguenti:

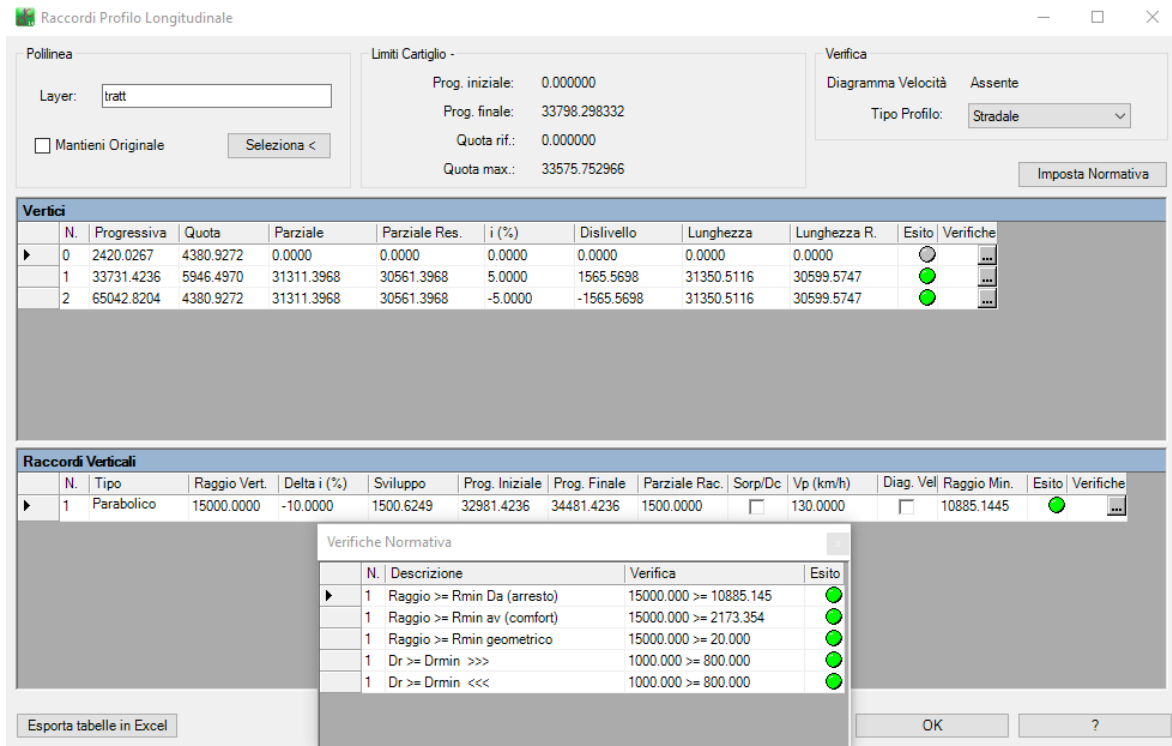


Figura 2.53: Parametri geometrici per una visibilità di 500m

E di conseguenza anche il disegno del raccordo riepilogativo

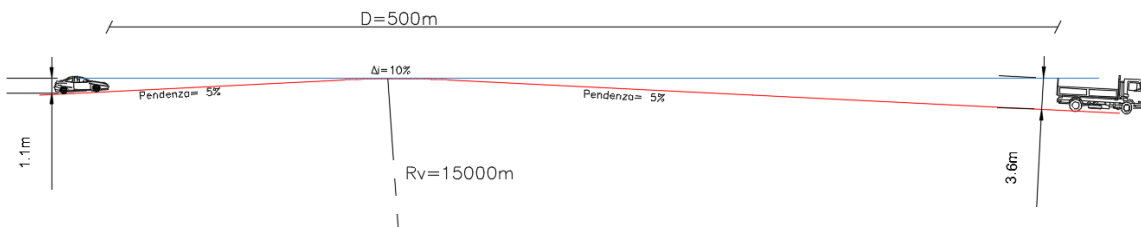


Figura 2.54: Distanza di visibilità di 500m

In definitiva, abbiamo trovato come per le curve, il valore del raggio del cerchio osculatore che raccorda le due livellette tale da ottenere una visibilità accettabile ed evitare di modificare gli schemi segnaletici attualmente adottati. A differenza delle curve però, il caso dei dossi permette visibilità di molto superiori, tali da consentire l'impiego dei normali schemi segnaletici già previsti dalla normativa. Inoltre, come abbiamo già analizzato nel paragrafo 1.3.6, il D.M. 10/07/2002 [2] richiede una visibilità minima di 300m per ogni segnale che compone lo schema complessivo e ciò è sempre garantito in questo tipo di ostacolo visivo. Si ritiene pertanto che il caso dei raccordi altimetrici non costituisce una problematica seria tale da indurre a una valutazione più approfondita.

Conclusioni

L'elaborato ha come ambito di ricerca la sicurezza dei cantieri autostradali in Italia. Nasce da una collaborazione fruttuosa tra il Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI) del Politecnico di Torino con l'azienda Tecne S.p.A. - Autostrade per l'Italia (ASPI). L'obiettivo centrale di questo studio è stato quello di analizzare, valutare e proporre miglioramenti nell'approccio italiano alla gestione dei cantieri autostradali, concentrandosi su aspetti chiave quali la normativa, l'incidentalità, la visibilità in curva e l'efficacia dei sistemi di segnalazione.

L'importanza di questa tesi risiede nella sua capacità di indagare e affrontare una questione cruciale per la sicurezza stradale: la gestione dei cantieri autostradali. L'efficacia delle procedure e della segnaletica in questi contesti è fondamentale per la tutela delle vite umane e per garantire la fluidità del traffico, ed è proprio questo l'obiettivo principale che ha motivato l'analisi e l'approfondimento di questa ricerca.

La costruzione delle autostrade Italiane è avvenuta in molti casi dagli anni 30', periodo nel quale le conoscenze sulla progettazione stradale erano limitate così come il numero di veicoli che ne usufruivano. Le autostrade, sebbene abbiano rappresentato un passo fondamentale nell'evoluzione delle infrastrutture stradali, possono ora presentare sfide significative per la messa in sicurezza e l'adattamento alle esigenze odierne.

Uno dei principali problemi associati alle autostrade costruite in epoche passate è la limitata comprensione dell'ingegneria e della geometria stradale nonché sulla valutazione della sicurezza per gli utenti che ne usufruiscono. Le autostrade in alcuni casi seguono curve e traiettorie che erano adeguate per i veicoli e flussi di traffico del tempo, ma che oggi possono risultare inadeguate per soddisfare i requisiti di sicurezza e fluidità del traffico. La tortuosità e la pendenza eccessive possono aumentare il rischio di incidenti e rallentare il traffico, nonché rappresentare un ostacolo visivo nel posizionamento dei cantieri in questi contesti.

L'ammodernamento e l'adattamento di queste autostrade rappresentano sfide significative per le autorità e gli enti responsabili delle infrastrutture stradali. Tuttavia, queste operazioni possono essere costose e complesse, richiedendo una pianificazione attenta e risorse considerevoli. Di conseguenza in molti casi l'unica possibilità a disposizione delle autorità è quella di effettuare manutenzione della rete esistente.

Nel corso di questa ricerca, è stata condotta un'analisi dettagliata della normativa italiana che regola i cantieri autostradali, con particolare attenzione al D.M. 10/07/2002 [2] e al Disciplinare interno di Tecne S.p.A. [3]. Questo studio ha rivelato sfide e opportunità nella gestione dei cantieri, evidenziando la necessità di semplificare e migliorare le normative per garantire maggiore chiarezza e coerenza nelle procedure di sicurezza.

Sebbene in molti Paesi Europei le disposizioni inerenti la gestione dei cantieri autostradali vengono aggiornate con frequenza, il nostro Paese vede l'ultima modifica risalente al 2002 a seguito delle disposizioni Europee che miravano a uniformare la circolazione stradale in tutto il continente. Tuttavia, se in altri Paesi sono state condotte innumerevoli sperimentazioni sull'adozione di sistemi di sicurezza più innovativi o sulla modifica degli schemi segnaletici, in Italia non è successo altrettanto. Di conseguenza è necessaria di Tecne S.p.A., società responsabile nella gestione dei cantieri nella rete Autostradale ASPI, studiare delle nuove soluzioni, adattando le direttive alle nuove esigenze, per cercare di migliorare la gestione dei cantieri in funzione dei processi di manutenzione che devono essere realizzati.

Da un'analisi degli incidenti nei principali Paesi Europei è emerso come le strade italiane siano tra le meno sicure in Europa. Ovviamente le cause sono molteplici e in molti casi sono da attribuire alle condotte inadatte dei conducenti piuttosto che alle infrastrutture o alla segnaletica. Tuttavia, queste ultime rivestono un ruolo cruciale nella valutazione ed è per questo che lo studio è proseguito sull'analisi delle metodologie adottate nei principali Paesi Europei.

Attraverso un confronto tra le pratiche Italiane e quelle di altri Paesi Europei, tra cui Francia, Germania e Spagna, sono emerse notevoli differenze nella gestione dei cantieri e nei sistemi segnaletici adottati. In particolare lo studio si è concentrato sul confronto della segnaletica al variare della tipologia di cantiere.

I cantieri fissi rappresentano l'ambito che ha fornito le soluzioni più interessanti come la chiusura preventiva della corsia di sorpasso per un breve tratto, nei cantieri che vengono allestiti sulla corsia di marcia. Questa pratica, adottata in Germania e Spagna, permette di riorganizzare la circolazione su un'unica corsia prima ancora di raggiungere il cantiere ed evitare che conducenti distratti finiscano per oltrepassare la segnaletica e finire nell'area del cantiere.

Un altro aspetto chiave nella gestione dei cantieri fissi è stata la lunghezza totale dello schema segnaletico che precede il cantiere e l'approccio utilizzato per la segnalazione dello stesso. Se in Italia si tende a far rallentare i veicoli prima ancora di preavvisarli della chiusura di una corsia, in altri Paesi come Germania e Francia viene immediatamente dato risalto alla segnaletica che preavvisa la chiusura della corsia, prima ancora di imporre delle limitazioni sulla velocità.

Inoltre il comparto segnaletico che precede il cantiere si sviluppa su tratti notevolmente più estesi rispetto a quelli previsti in Italia e ciò ovviamente agevola ulteriormente la comprensione e l'attuazione delle manovre richieste. Interessante notare poi come in Italia la limitazione della velocità nell'area adibita a cantiere sia di 60Km/h al contrario di Germania e Spagna nei quali risulta di 80Km/h e in Francia di 90Km/h.

Un altro elemento discordante riguarda la "zona tampone" proposta da Francia e Germania.

Si tratta di un'area di sicurezza interposta tra la smussatura che chiude la corsia e l'effettivo posizionamento del cantiere. In Francia viene fissata ad un minimo di 50m nonostante si abbia uno schema analogo a quello Italiano, al contrario in Germania tale zona è fissata a 100m.

Per quanto riguarda invece i cantieri mobili è stato interessante notare come, al contrario dei cantieri fissi, la tendenza in Europa sia quella di concentrare gli schemi segnaletici in uno spazio più ristretto. Tale aspetto, se nel caso dei cantieri fissi rappresenta un problema, nei mobili è una valida soluzione in tutte quelle situazioni in cui sia per ragioni geometriche del tracciato che per ragioni meteorologiche, la visibilità è compromessa.

Una soluzione innovativa ed efficiente utilizzata in Germania sono le bande sonore che si interpongono tra i segnali di preavviso e quelli di chiusura della corsia. I cantieri mobili infatti, essendo lavorazioni che subiscono continui spostamenti nel corso della giornata non permettono installazioni particolarmente evidenti come accade nei cantieri fissi. Per questo motivo l'utilizzo dei dispositivi di avvertimento sonori non può che essere una soluzione valida che potrebbe essere riproposta anche in Italia. Ciò che distingue gli schemi per i cantieri mobili della Germania con quelli adottati in Italia infatti è proprio la presenza di questi segnali acustici, pertanto una modifica delle disposizioni non andrebbe a intaccare in nessun modo quelle che sono le procedure operative fornite ai lavoratori in questo momento.

Un ultimo aspetto interessante che ha trovato spazio nell'elaborato riguarda la procedura di installazione dei cantieri adottata in Francia. All'interno del manuale operativo Francese è previsto che per la posa dei coni che compongono lo schema segnaletico e che fungono da delimitazione dell'area di cantiere venga fatto rimanere l'operatore incaricato direttamente al di sopra del mezzo utilizzato per il trasporto. Si potrebbe studiare tale procedura per implementarla nel manuale operativo dei lavoratori, anche nel caso di posa della segnaletica e non solamente per i coni di separazione. A questo si aggiunge la possibilità di prevedere per il futuro dei mezzi che mediante l'utilizzo di un braccio meccanico posizionino i segnali autonomamente rispettando tutte le disposizioni dello schema segnaletico.

All'interno dell'ultimo rapporto rilasciato da Istat (Istituto Nazionale di Statistica Italiana) gli incidenti avvenuti sul territorio Italiano nel 2022 sono stati suddivisi in funzione della categoria stradale e della posizione geografica dell'evento all'interno della strada. Un dato importante che ha catturato l'attenzione riguarda la percentuale di incidenti avvenuti in curva che rappresentano il 20% del totale. Se a questo si aggiunge la considerazione sul fatto che tutti gli schemi segnaletici proposti dalla normativa sono rappresentati su un tratto rettilineo, si arriva alla conclusione che una valida prosecuzione dello studio non può che essere quella di fornire delle alternative nel caso di cantiere posizionato proprio in curva.

Una disposizione che avvalorava lo studio è riportata all'interno del D.M. 10/07/2002, nel quale viene richiesto che ogni segnale dello schema sia separatamente visibile da almeno 300m. Se però si esaminano gli schemi relativi ai cantieri mobili si vede come la distanza prevista tra il segnale di preavviso e il mezzo che chiude la corsia è fissata a 500m. Se nel caso di rettilineo e di visibilità perfetta questa distanza non costituisce un problema, nel caso di curve a raggio ristretto ciò non è sempre garantito.

Attraverso simulazioni dettagliate sono state costruite delle curve facendo variare tutti i parametri che costituiscono una variabile per la determinazione della visuale libera a disposizione dei conducenti. Sono stati esaminati vari parametri, tra cui l'angolo tra i rettifili, il

raggio di curvatura, la corsia da chiudere e la presenza di barriere divisorie che ne ostacolano la vista. I risultati hanno dimostrato che la visibilità in curva può rappresentare un elemento chiave per la sicurezza dei conducenti quando è necessario intraprendere delle lavorazioni sulla rete autostradale.

Come si evince dai dati infatti al variare dei parametri in molti casi non si raggiunge la visibilità minima di 300m che permette di eseguire in sicurezza le eventuali manovre di arresto o di cambio corsia. Per questo motivo sono state formulate delle proposte alternative agli schemi attualmente utilizzati andando a ridurre la distanza tra i mezzi impiegati per il segnalamento e proponendo nuovi dispositivi come ad esempio i dissuasori di velocità.

Questo tipo di dispositivi hanno trovato largo spazio nella sperimentazione in America ed è stato dimostrato proprio come in loro presenza la velocità media nel tratto si riduca notevolmente. Inoltre, a questi si potrebbero aggiungere dei Pannelli a Messaggio Variabile mobili (PMV), già utilizzati in gran numero all'interno della rete autostradale italiana anche per la segnalazione di eventuali cantieri. Tuttavia, questi sono fissi e spesso non segnalano la presenza del cantiere in maniera chiara agli automobilisti. La procedura adottata infatti prevede che venga indicata la presenza del cantiere fornendo il chilometro all'interno della strada interessata. Informazione riportata esclusivamente sui segnali di progressiva chilometrica posti a margine della carreggiata ma che spesso sono assenti o danneggiati e in ogni caso difficilmente visibili per chi viaggia sulla corsia di sorpasso o in quella centrale nelle carreggiate a tre corsie. Per questo motivo una soluzione possibile potrebbe essere quella di adottare Pannelli a Messaggio Variabile mobili che possono essere posizionati a monte del cantiere in maniera da costituire elemento aggiuntivo per la segnalazione chiara dello stesso.

Il presente lavoro di ricerca vuole rappresentare un punto di partenza per proporre in futuro delle modifiche alla normativa italiana, prendendo spunto per alcuni aspetti dalle differenze valutate con i regolamenti Europei e in altri sperimentando nuove disposizioni segnaletiche, al fine di rendere il cantiere stradale più visibile e sicuro anche ai conducenti più distratti.

Soluzioni come la chiusura preventiva della corsia di sorpasso se il cantiere deve essere posto sulla corsia di marcia, o l'impiego di dispositivi acustici per la segnalazione dei cantieri fissi possono rappresentare delle valide alternative per risolvere problemi gravi di sicurezza autostradale. Se a questo si aggiunge una valutazione accurata della visibilità nelle curve a raggio ristretto o nei raccordi altimetrici che un cantiere mobile incontra durante una giornata lavorativa, si migliora notevolmente la sicurezza nelle autostrade.

Tutte queste proposte sono valide soluzioni a un contesto complicato come quello delle infrastrutture Italiane, che inevitabilmente non godono di risorse economiche sufficienti nel breve periodo per un adeguato ammodernamento. Risolvere problemi di visibilità è complicato e richiede in alcuni casi la completa ristrutturazione della strada interessata. Nel breve periodo pertanto è necessario trovare delle soluzioni rapide ed a basso impatto sia economico che nella riorganizzazione delle procedure aziendali.

Tuttavia, guardando al futuro sono tante le soluzioni efficienti che potrebbero risolvere il problema della mortalità elevata nelle strade Italiane. Negli ultimi anni sono stati sviluppati sistemi di frenata assistita, di controllo della corsia in cui il veicolo viaggia e addirittura molto presto anche sistemi di guida automatizzata. Rimanendo ai giorni odierni però, il solo fatto della sostituzione dei veicoli d'altri tempi con quelli di ultima generazione che

rivestirà il Paese nei prossimi venti anni, potrebbe ridurre drasticamente il numero degli incidenti. Sistemi di frenata automatica o controllo della corsia potrebbero migliorare la circolazione in una maniera senza precedenti. Non si tratta di un futuro troppo lontano, ma di un miglioramento lento e continuo che vedrà non solo le strade Italiane ma anche quelle di tutto il mondo diventare sempre più sicure di anno in anno.

Guardando poi a un futuro più lontano si potrebbe pensare all'implementazione di soluzioni tecnologiche avanzate come sistemi smart basati sull'Internet delle cose (IoT). La comunicazione veicolo-veicolo (V2V) o veicolo-infrastruttura (V2I), rappresenta una soluzione molto interessante per il futuro e permette di monitorare e gestire in tempo reale i cantieri e garantire la sicurezza dei conducenti. Ovviamente nel breve periodo è complicato pensare a una simile implementazione, ma in un contesto in cui è necessario ristrutturare le infrastrutture si potrebbe pensare a un salto ulteriore nella tecnologia attualmente prevista per la costruzione delle strade.

In conclusione, la sicurezza dei cantieri autostradali è una priorità assoluta per preservare la vita umana e garantire la fluidità del traffico. Questa tesi rappresenta un contributo significativo alla comprensione e al miglioramento di questo settore cruciale, sottolineando l'importanza della collaborazione tra il mondo accademico e i gestori delle infrastrutture stradali. È fondamentale perseguire l'obiettivo di cantieri autostradali più sicuri ed efficienti in Italia attraverso sforzi congiunti e l'implementazione di soluzioni innovative. La sicurezza stradale è una responsabilità condivisa e insieme possiamo lavorare per un futuro in cui le autostrade italiane siano luoghi più sicuri per tutti gli utenti.

Curva sinistrorsa - Chiusura corsia di marcia

A.1 Visibilità al di sopra dei New Jersey

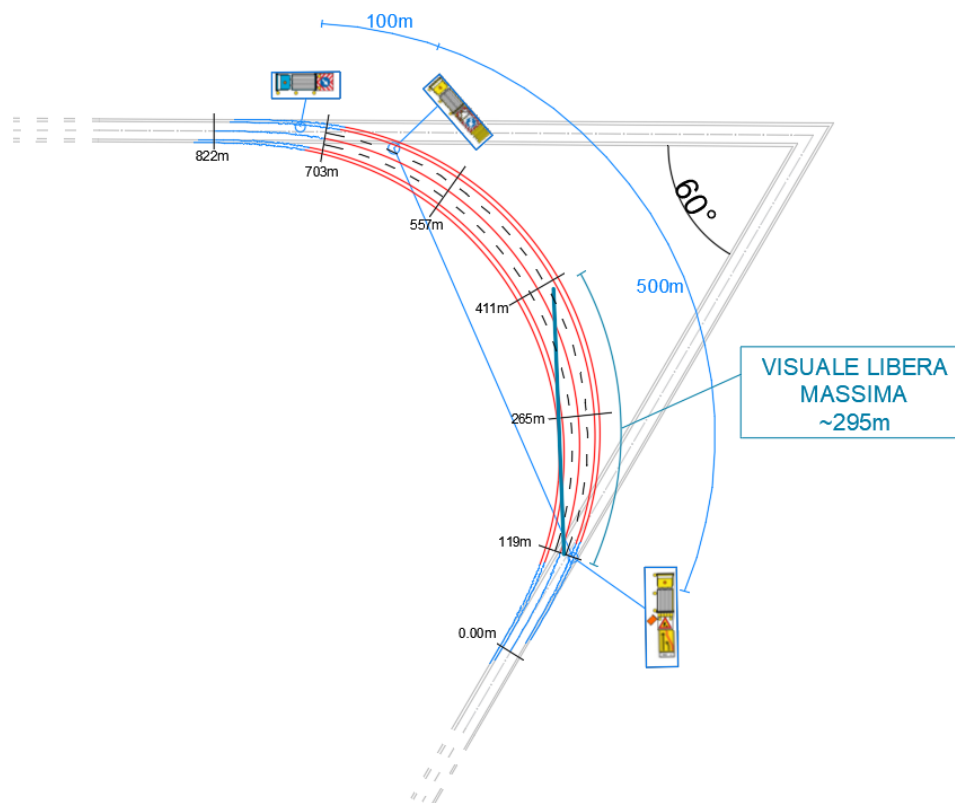


Figura A.1: $\alpha = 60^\circ$ - $R=335,7m$ - $90Km/h$

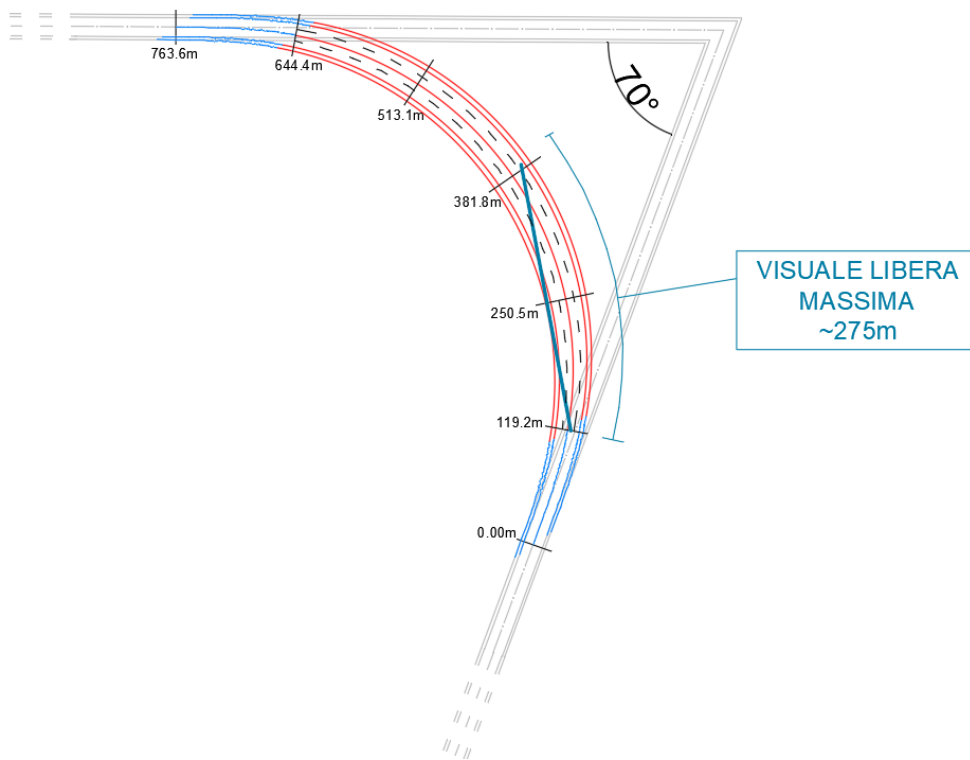


Figura A.2: $\alpha = 70^\circ$ - $R=335,7m$ - $90Km/h$

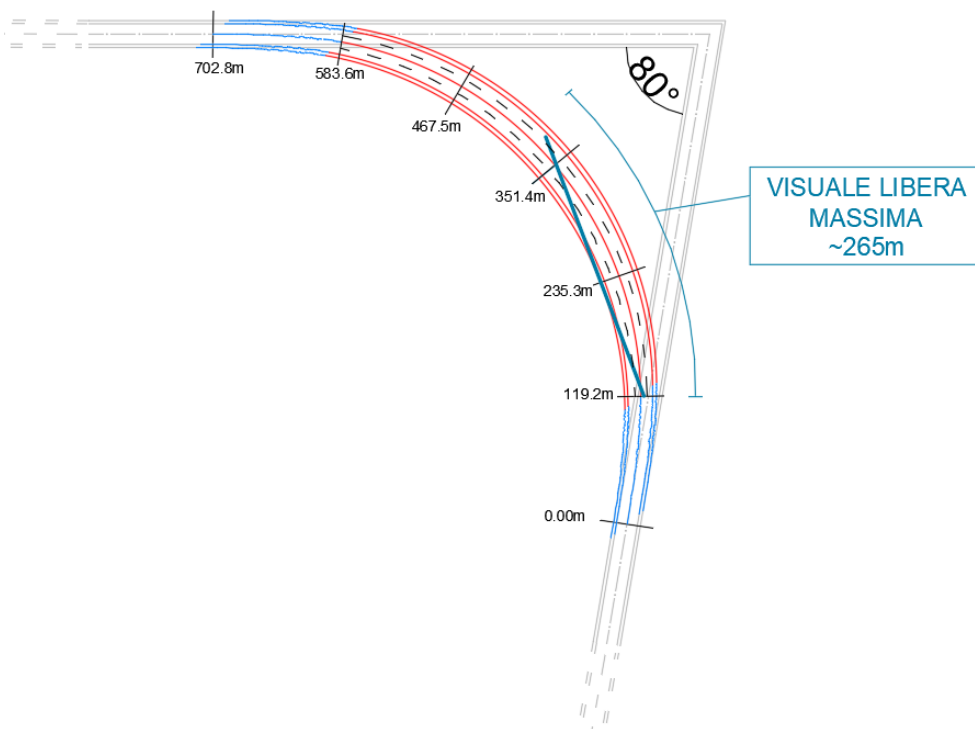


Figura A.3: $\alpha = 80^\circ$ - $R=335,7m$ - $90Km/h$

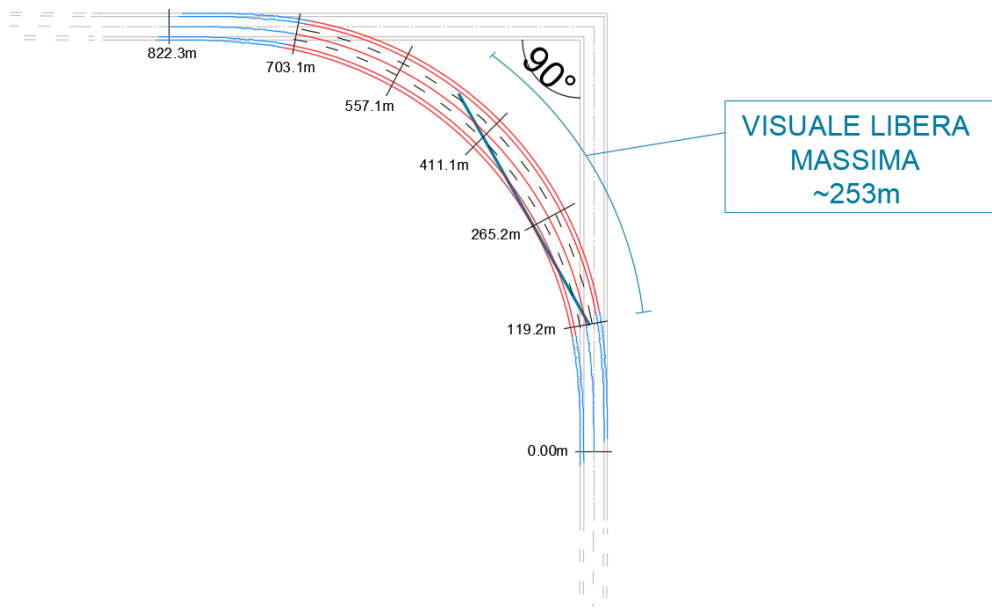


Figura A.4: $\alpha = 90^\circ$ - $R=335,7m$ - $90Km/h$

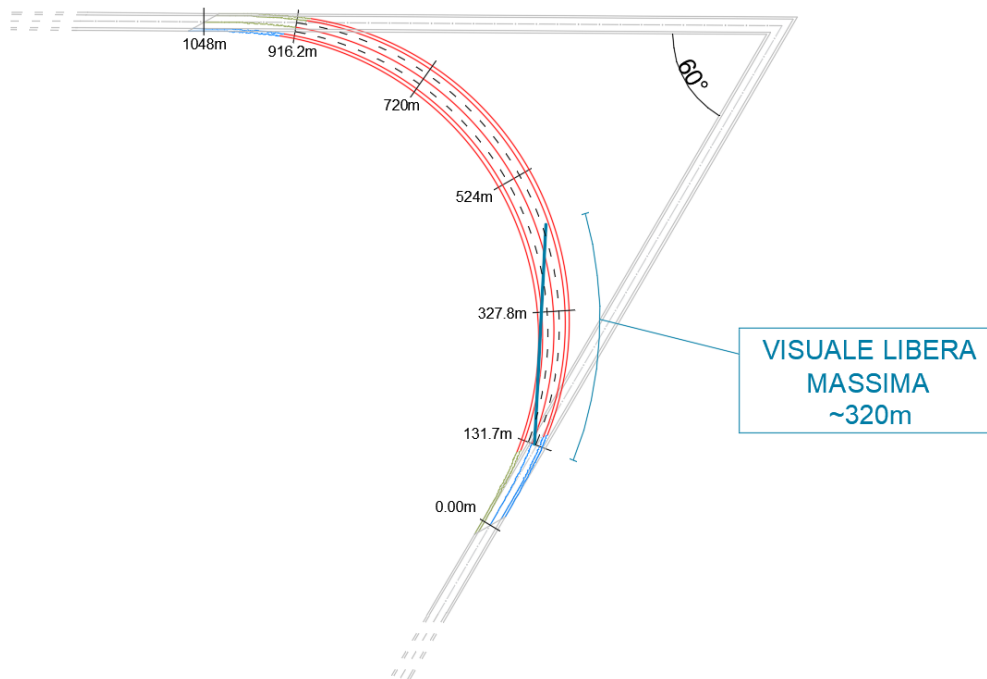


Figura A.5: $\alpha = 60^\circ$ - $R=437.44m$ - $100Km/h$

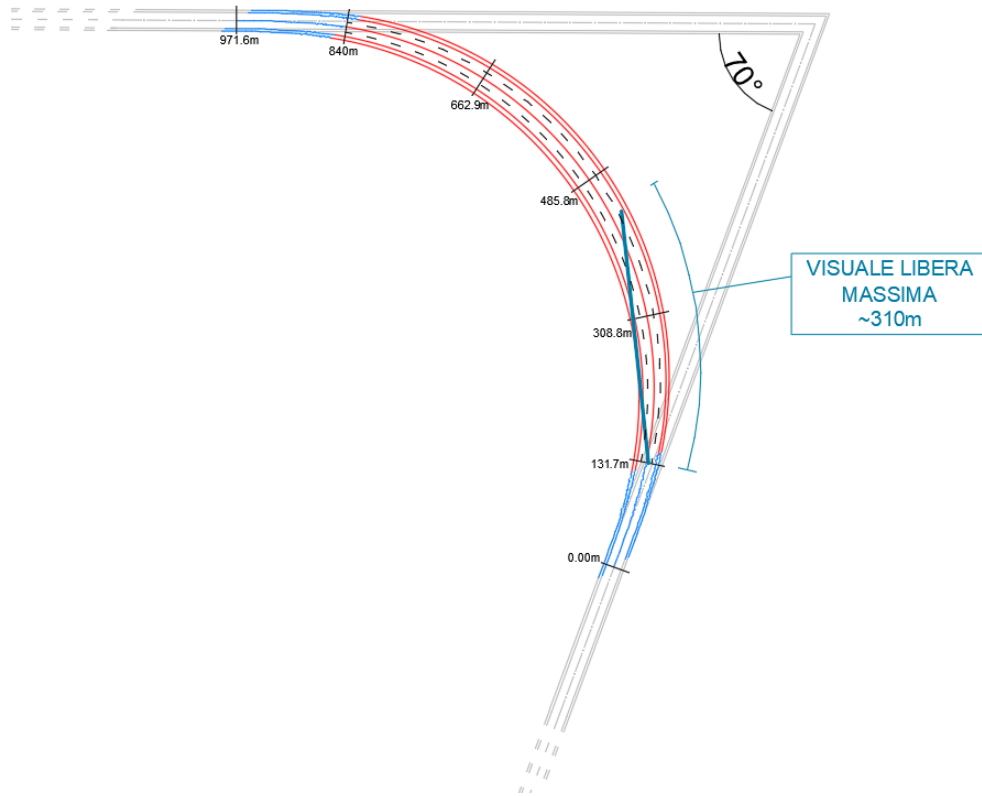


Figura A.6: $\alpha = 70^\circ$ - $R=437.44m$ - $100Km/h$

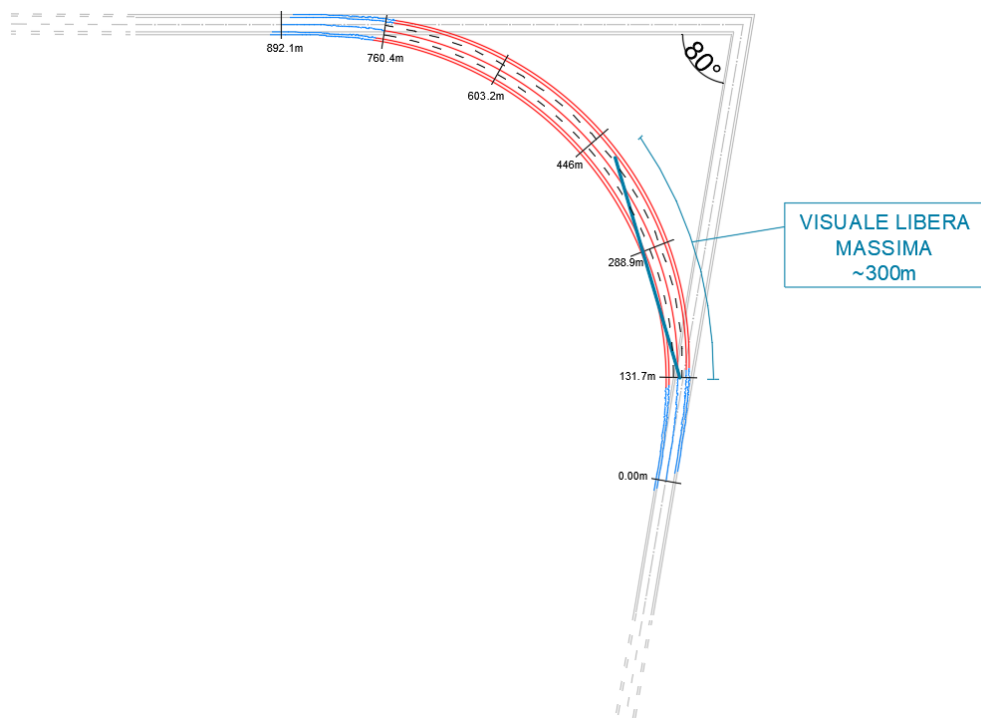


Figura A.7: $\alpha = 80^\circ$ - $R=437.44m$ - $100Km/h$

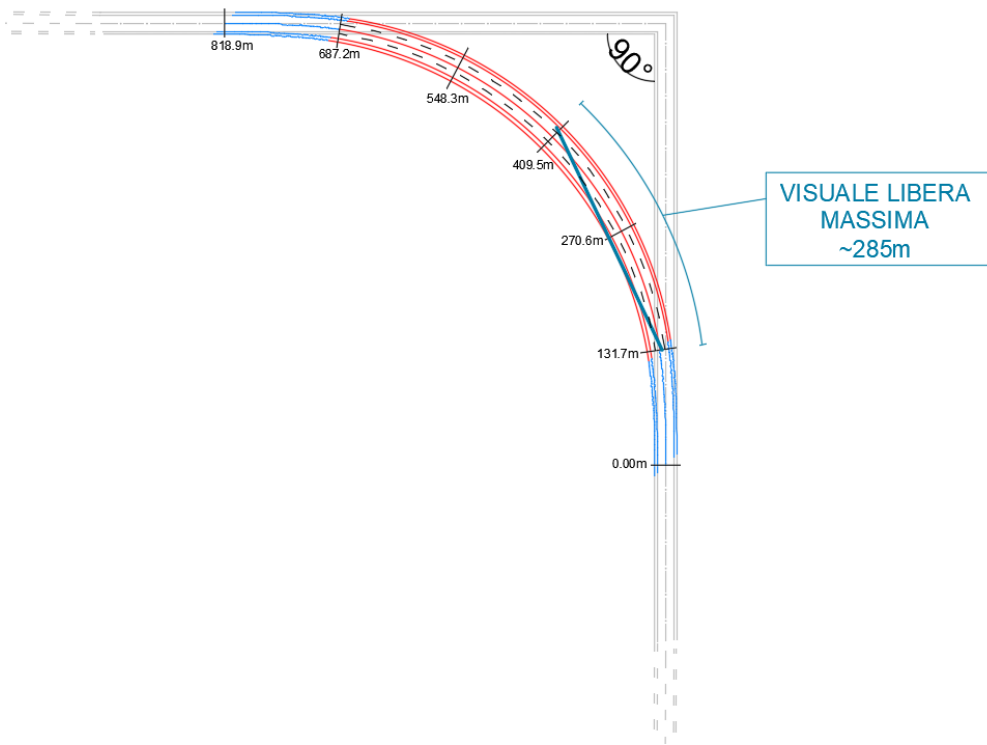


Figura A.8: $\alpha = 80^\circ$ - R=437.44m - 100Km/h

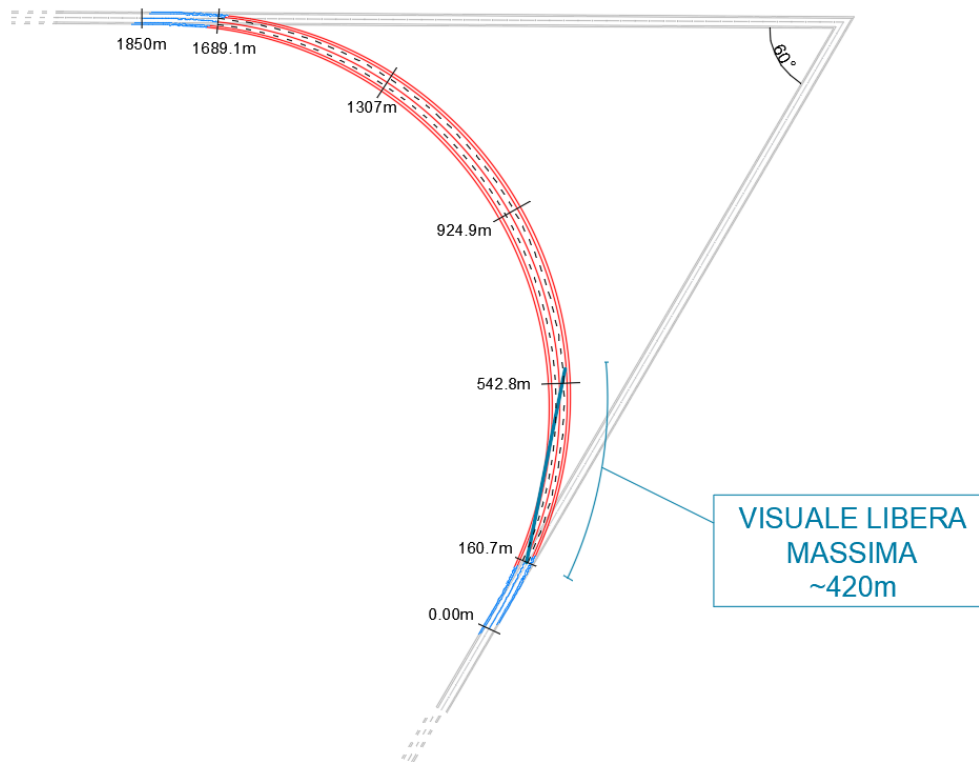


Figura A.9: $\alpha = 60^\circ$ - R=806.5m - 130Km/h

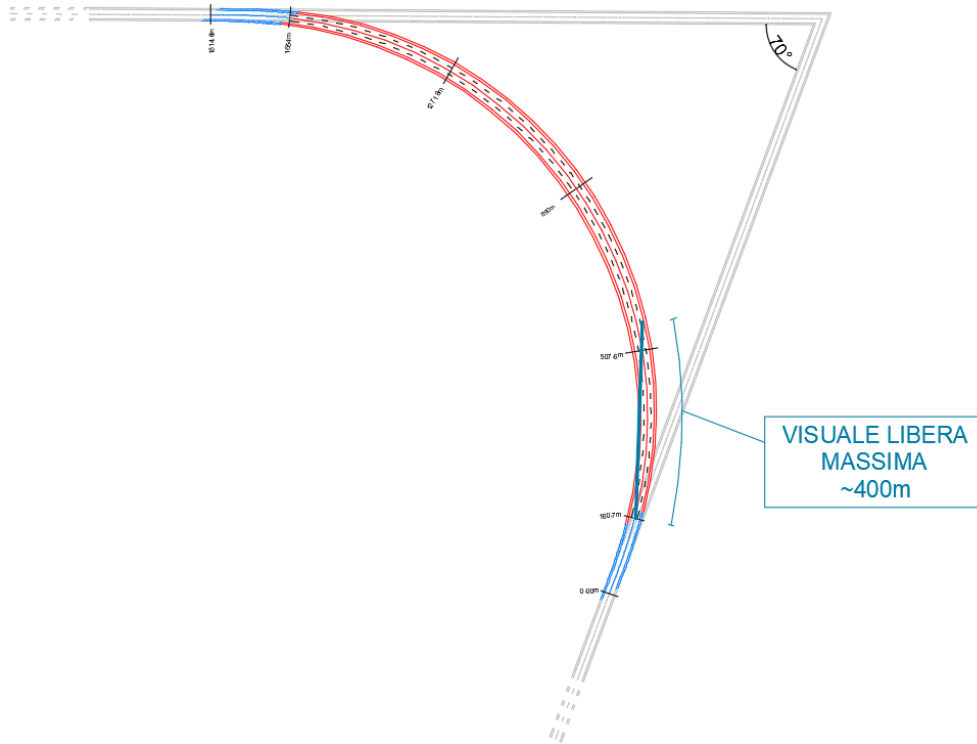


Figura A.10: $\alpha = 70^\circ$ - R=806.5m - 130Km/h

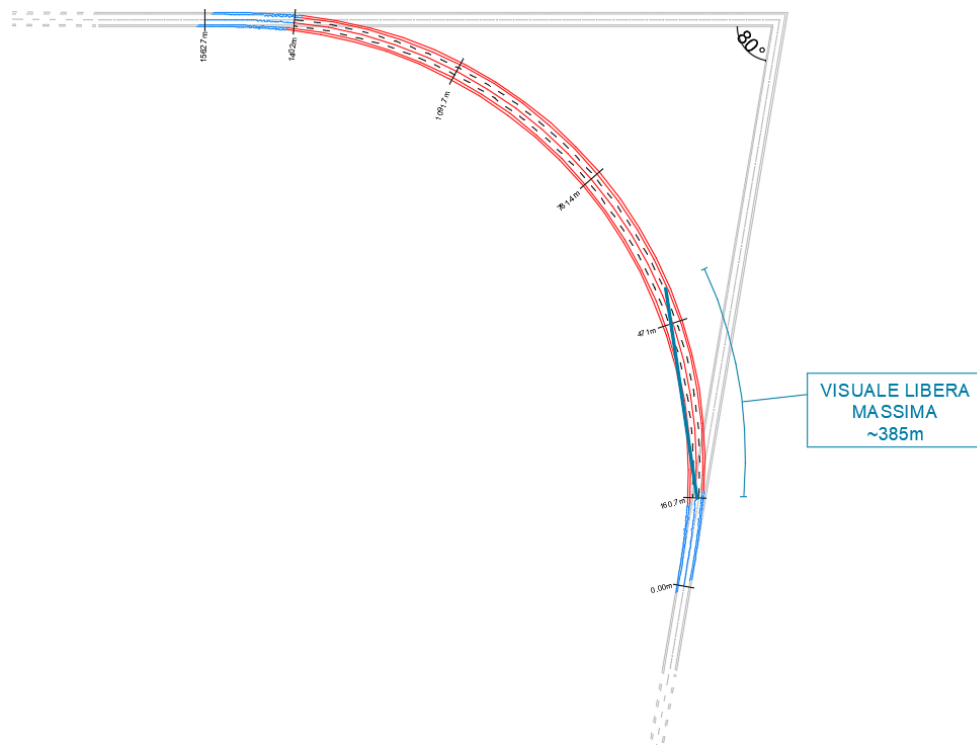


Figura A.11: $\alpha = 80^\circ$ - R=806.5m - 130Km/h

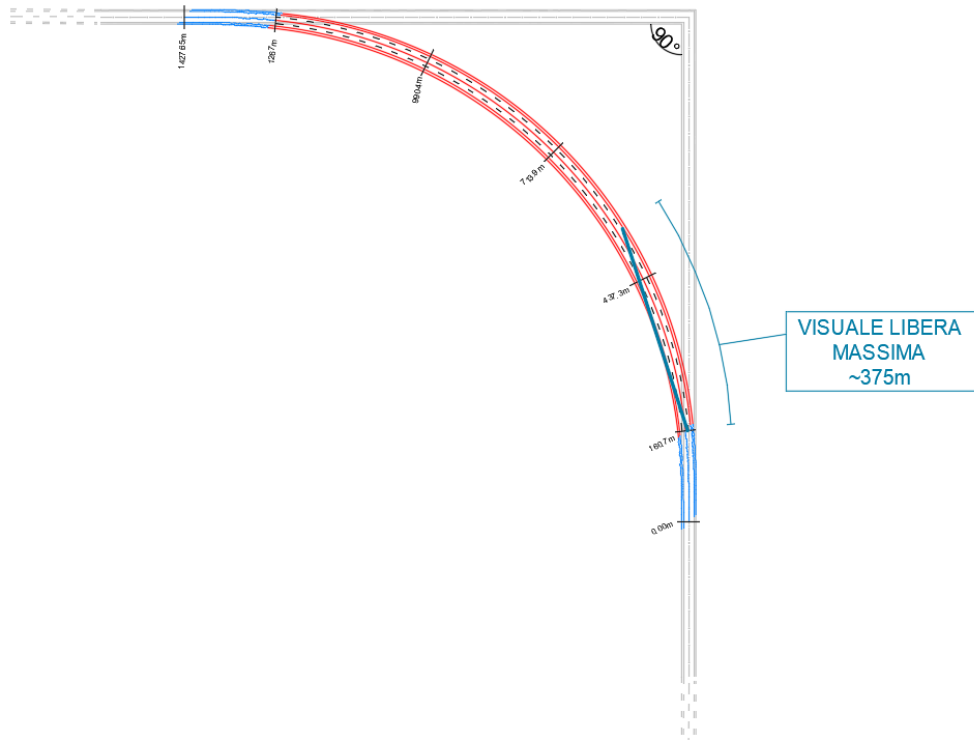


Figura A.12: $\alpha = 90^\circ$ - R=806.5m - 130Km/h

A.2 Visibilità impedita dai New Jersey o altri fattori

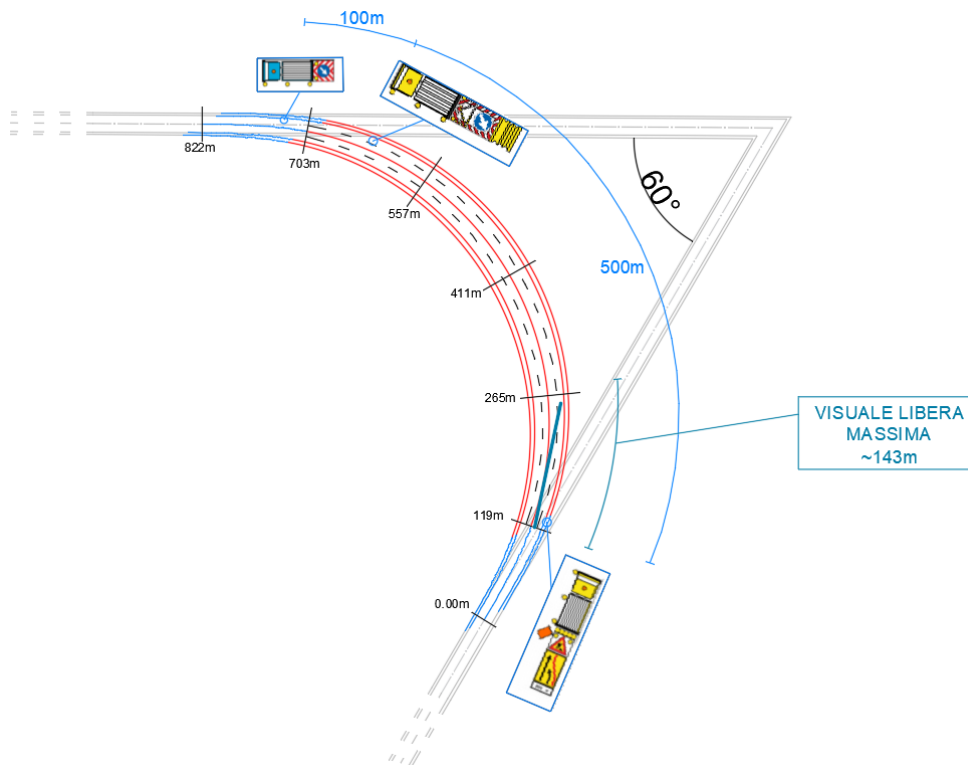


Figura A.13: $\alpha = 60^\circ$ - R=335,7m - 90Km/h

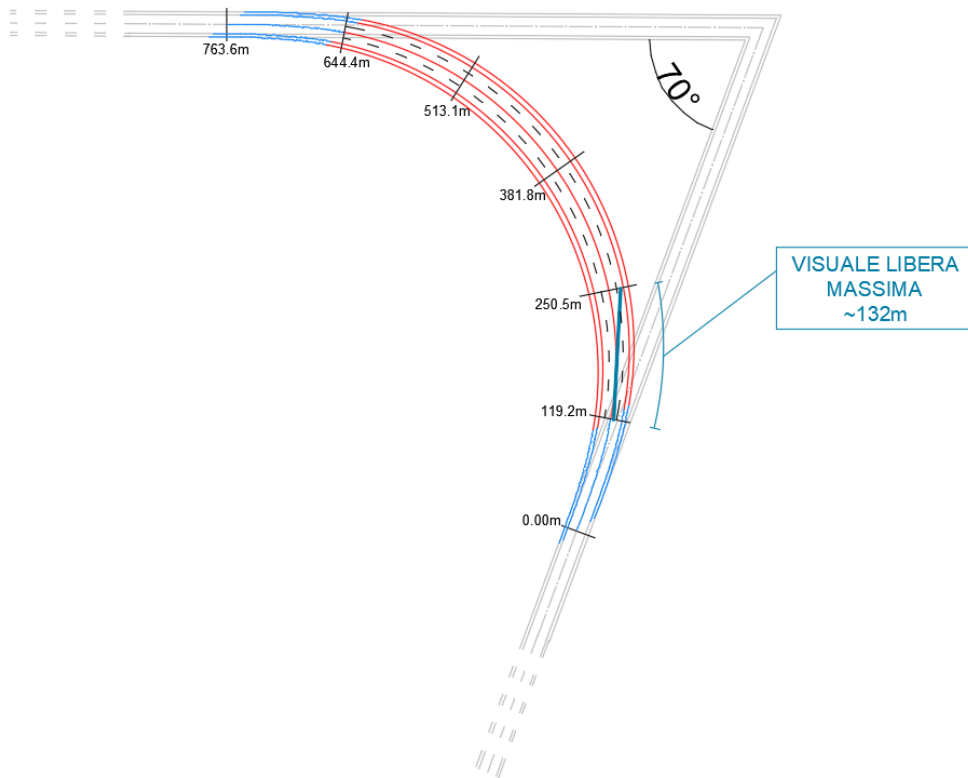


Figura A.14: $\alpha = 70^\circ$ - $R=335,7m$ - 90Km/h

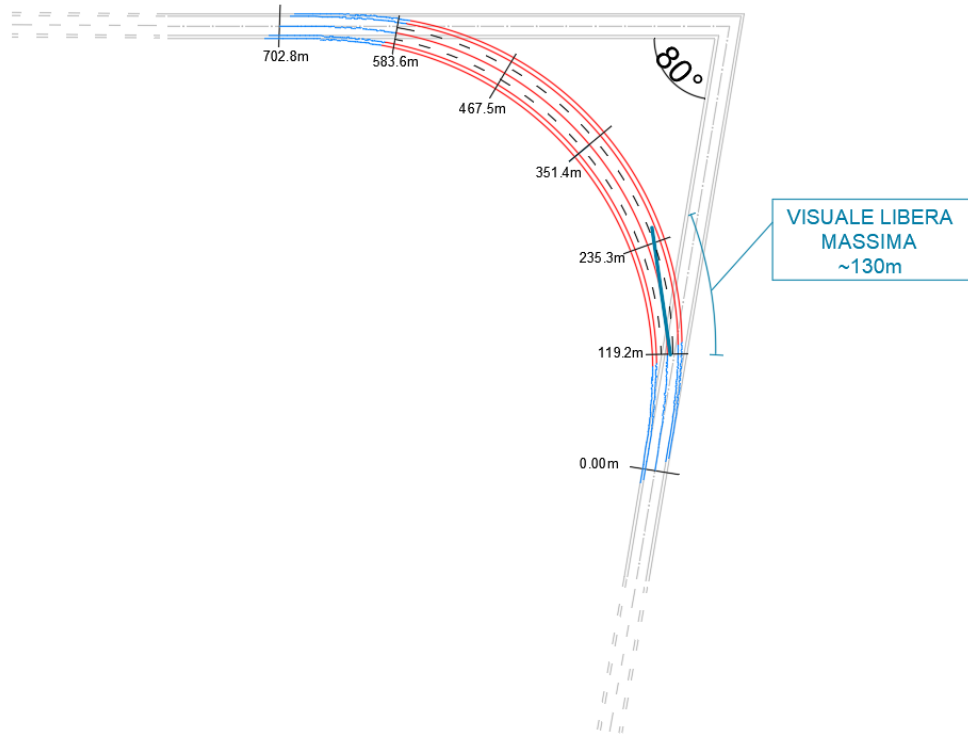


Figura A.15: $\alpha = 80^\circ$ - $R=335,7m$ - 90Km/h

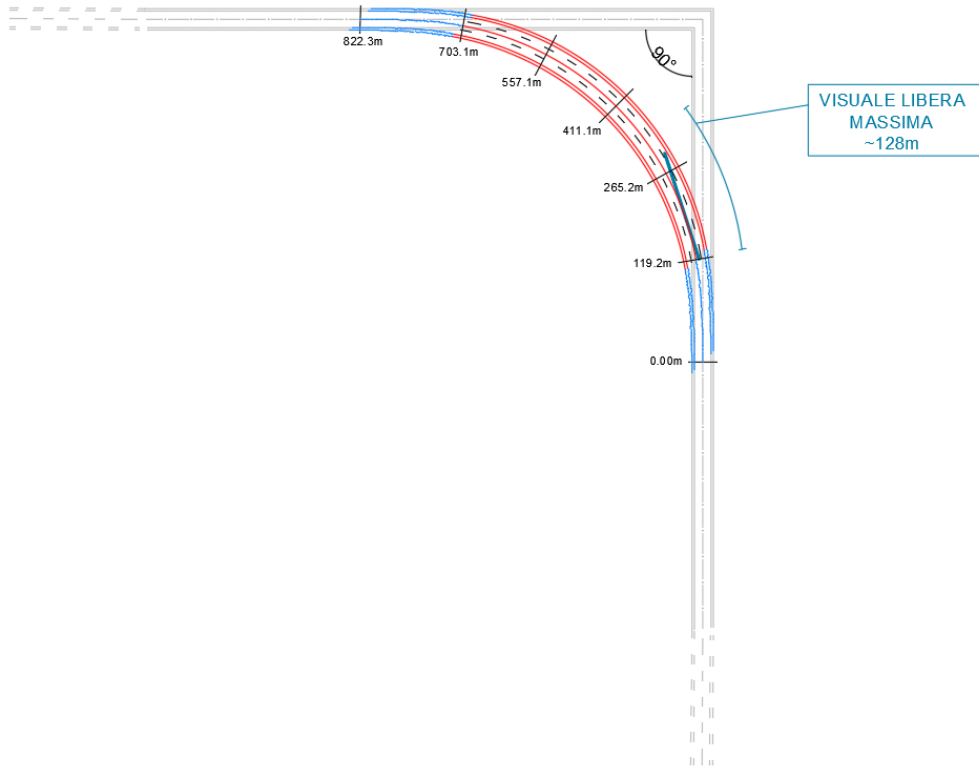


Figura A.16: $\alpha = 90^\circ$ - R=335,7m - 90Km/h

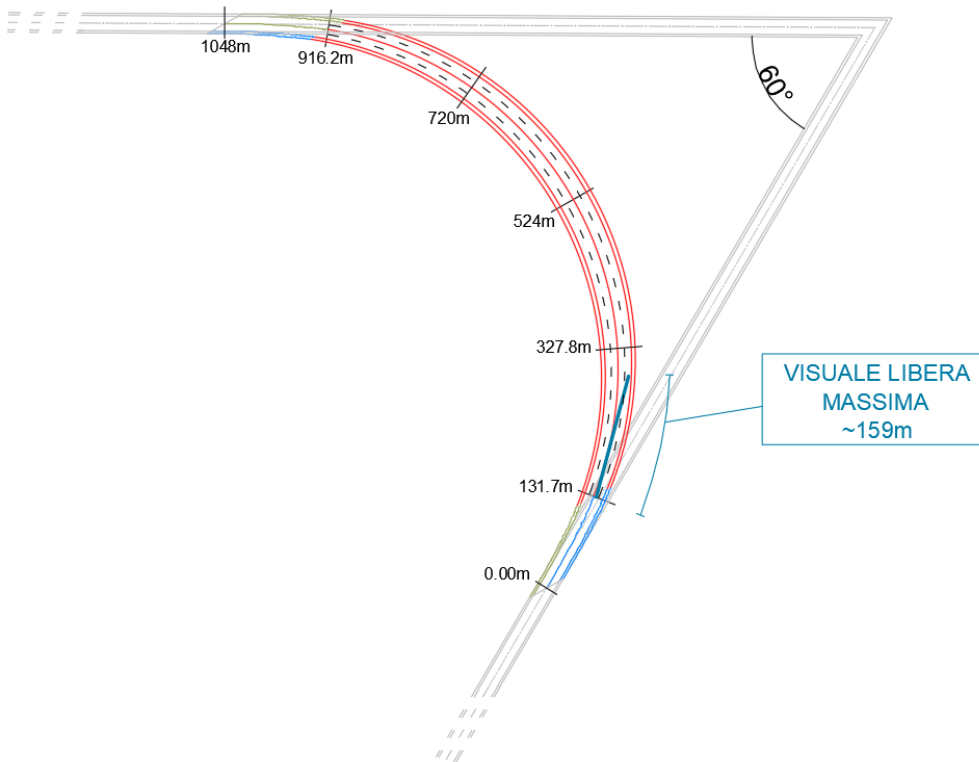


Figura A.17: $\alpha = 60^\circ$ - R=437,44m - 100Km/h

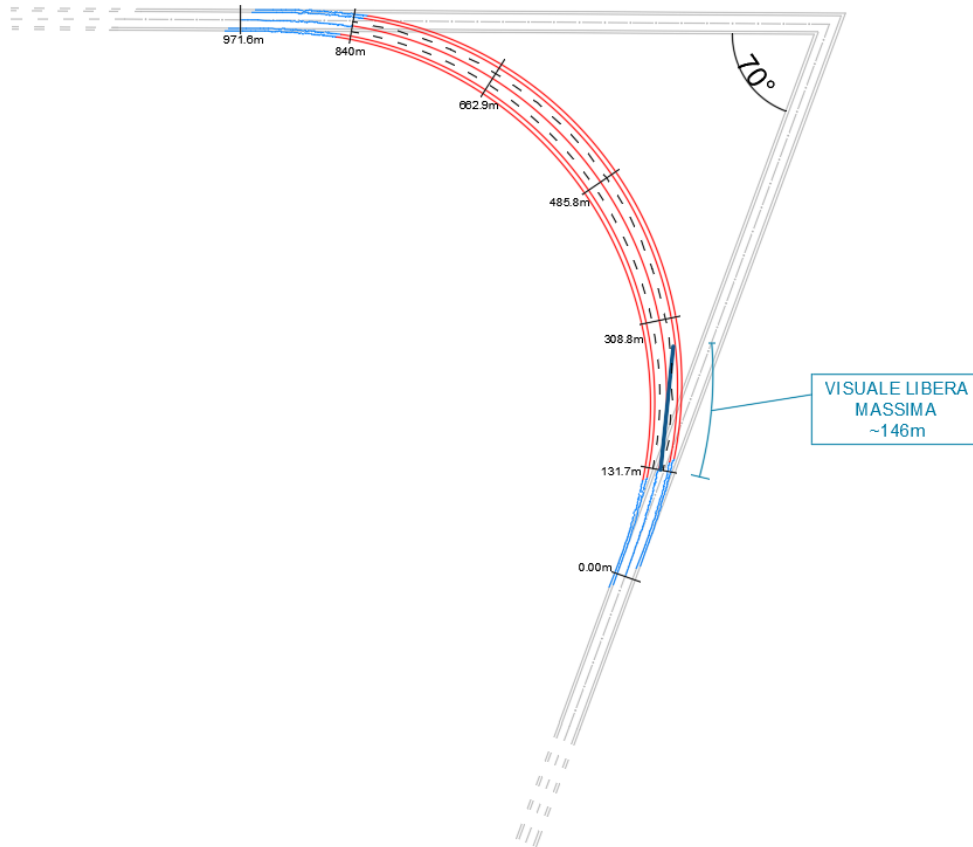


Figura A.18: $\alpha = 70^\circ$ - $R=437.44m$ - 100Km/h

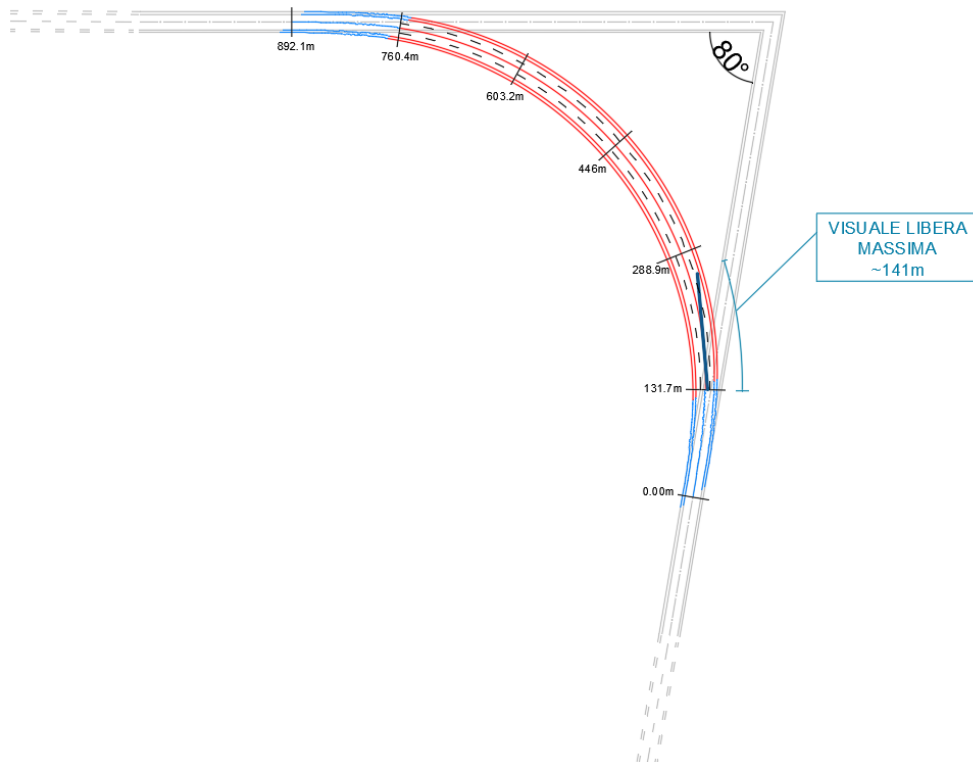


Figura A.19: $\alpha = 80^\circ$ - $R=437.44m$ - 100Km/h

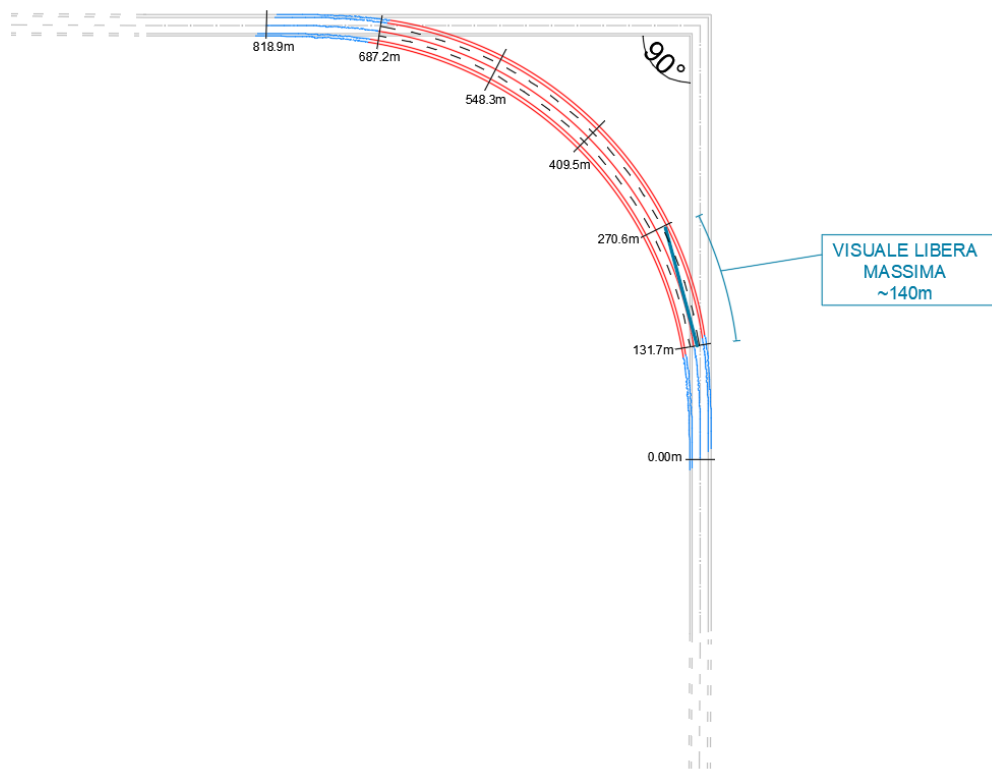


Figura A.20: $\alpha = 80^\circ$ - $R=437.44m$ - $100Km/h$

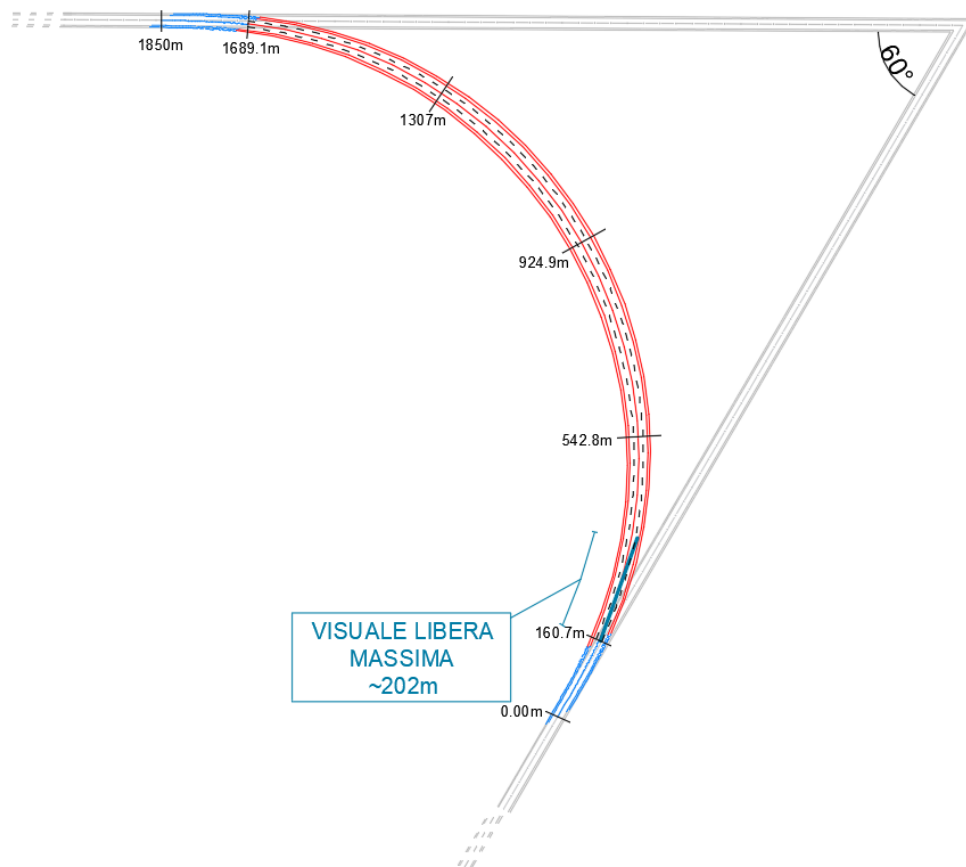


Figura A.21: $\alpha = 60^\circ$ - $R=806.5m$ - $130Km/h$

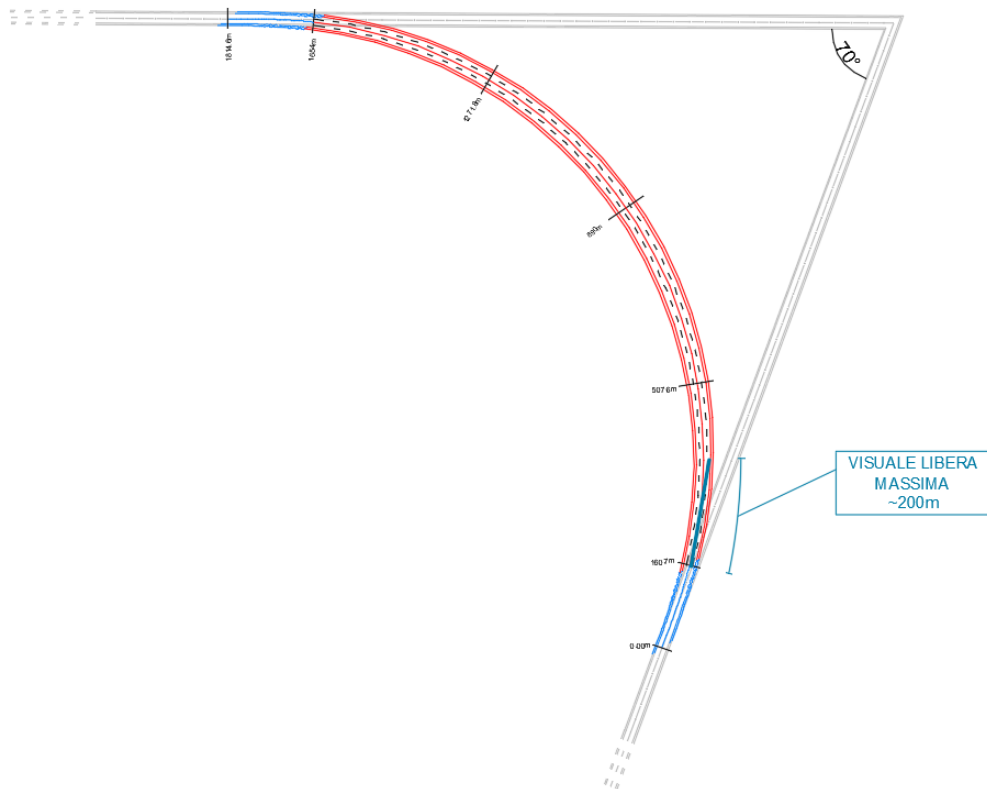


Figura A.22: $\alpha = 70^\circ$ - R=806.5m - 130Km/h

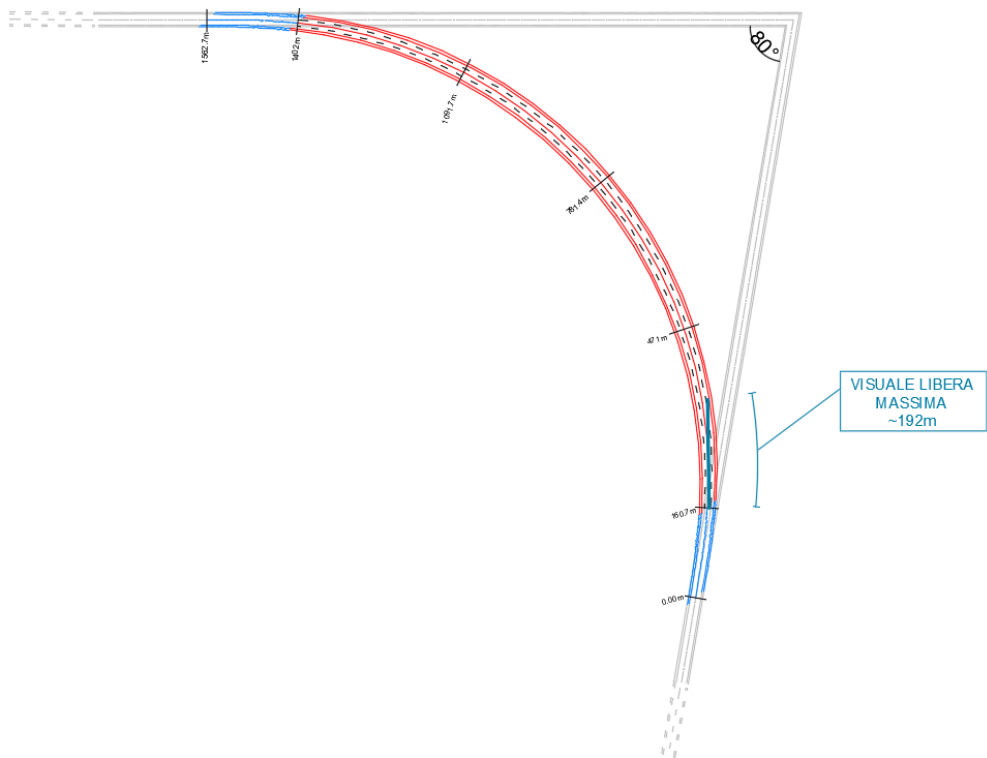


Figura A.23: $\alpha = 80^\circ$ - R=806.5m - 130Km/h

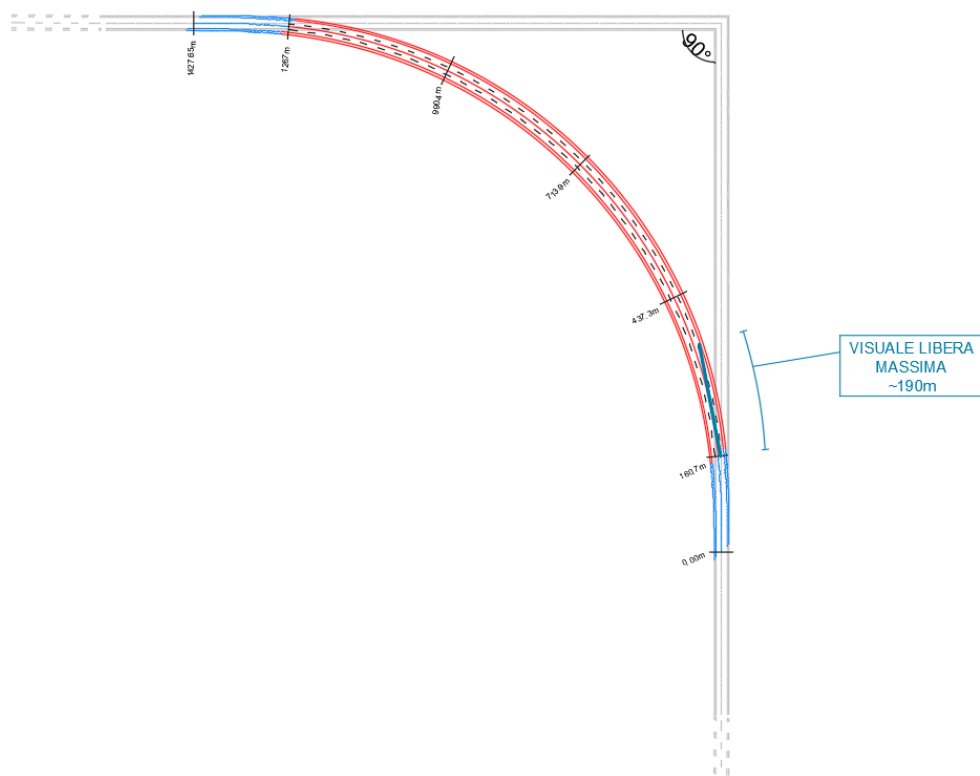


Figura A.24: $\alpha = 90^\circ$ - $R=806.5m$ - $130Km/h$

Curva sinistrorsa - Chiusura corsia di sorpasso - Veicolo che viaggia sulla corsia di marcia

B.1 Visibilità al di sopra dei New Jersey

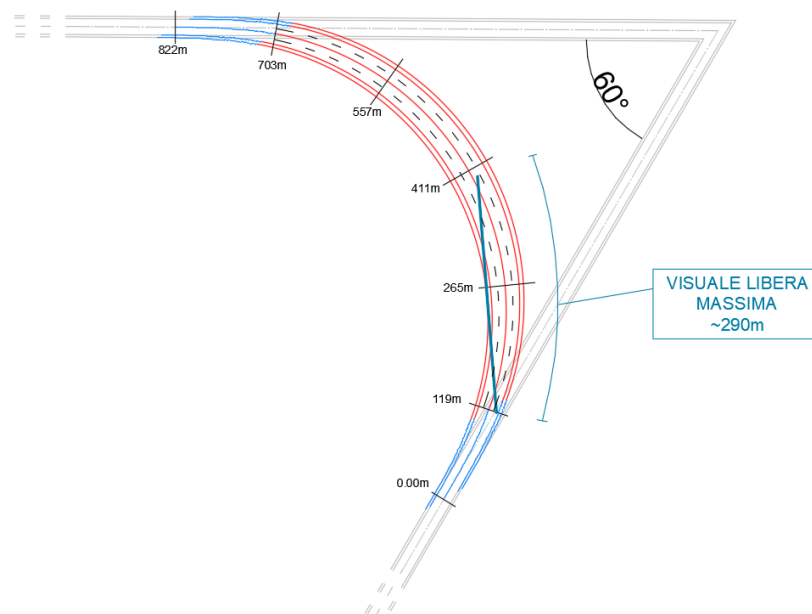


Figura B.1: $\alpha = 60^\circ$ - $R=335,7\text{m}$ - 90Km/h

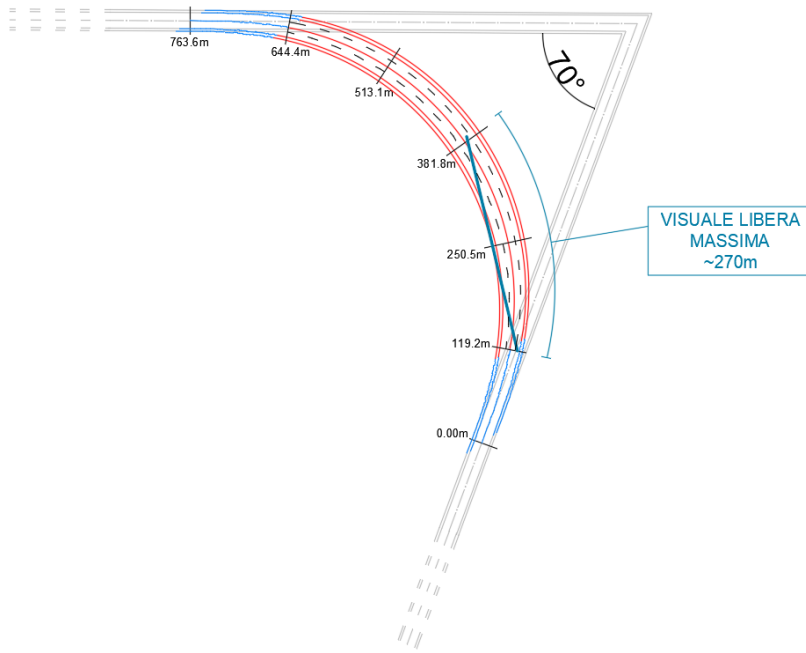


Figura B.2: $\alpha = 70^\circ$ - R=335,7m - 90Km/h

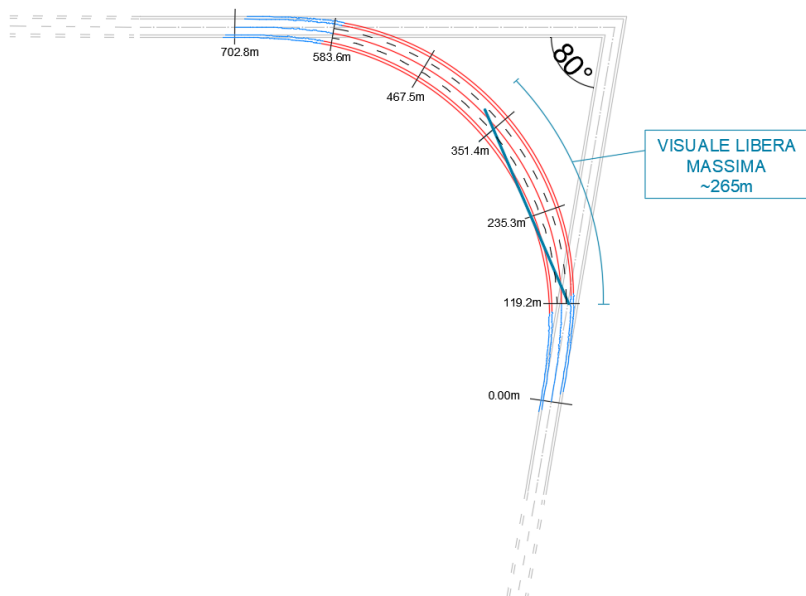


Figura B.3: $\alpha = 80^\circ$ - R=335,7m - 90Km/h

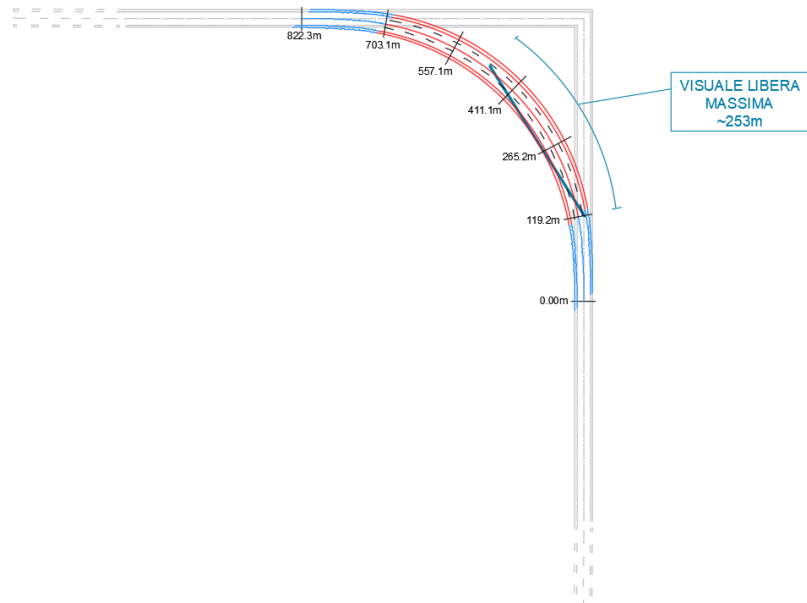


Figura B.4: $\alpha = 90^\circ$ - R=335,7m - 90Km/h

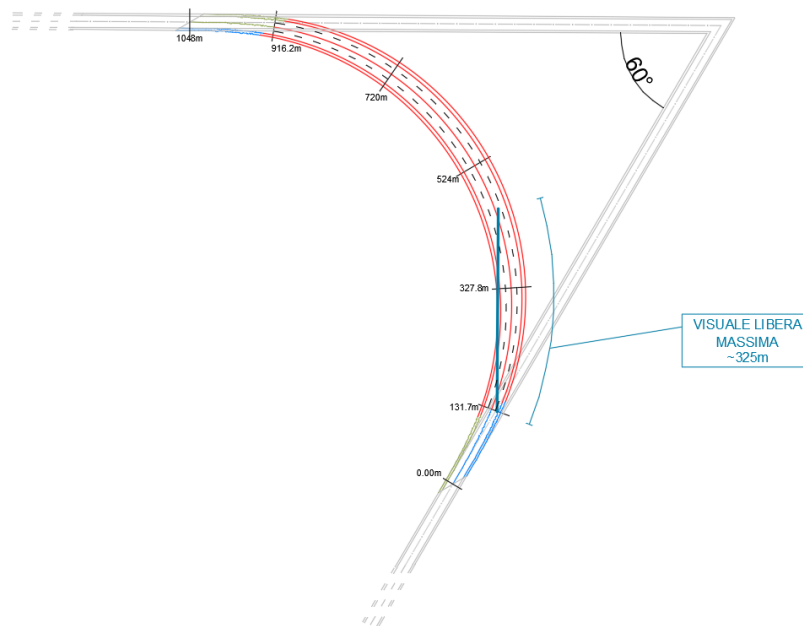


Figura B.5: $\alpha = 60^\circ$ - R=437.44m - 100Km/h

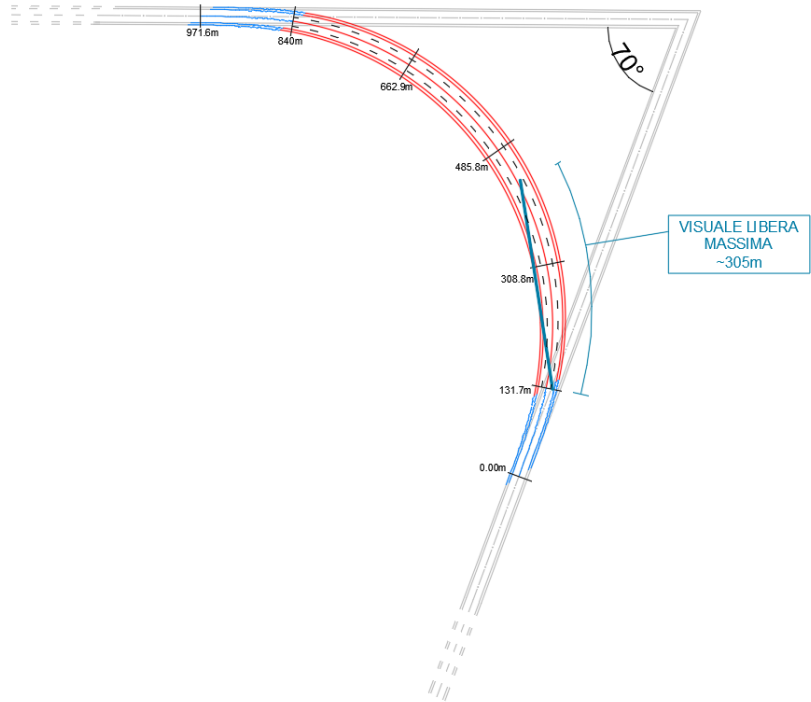


Figura B.6: $\alpha = 70^\circ$ - R=437.44m - 100Km/h

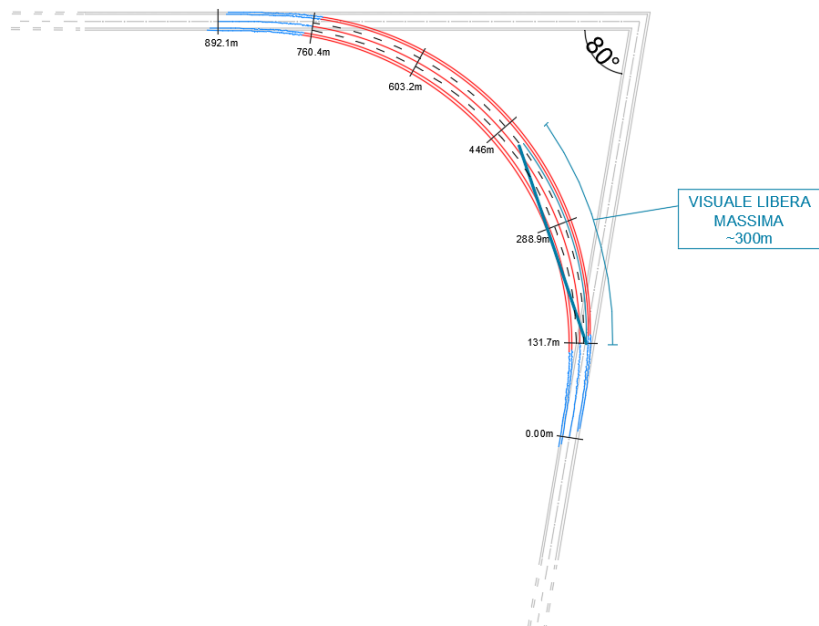


Figura B.7: $\alpha = 80^\circ$ - R=437.44m - 100Km/h

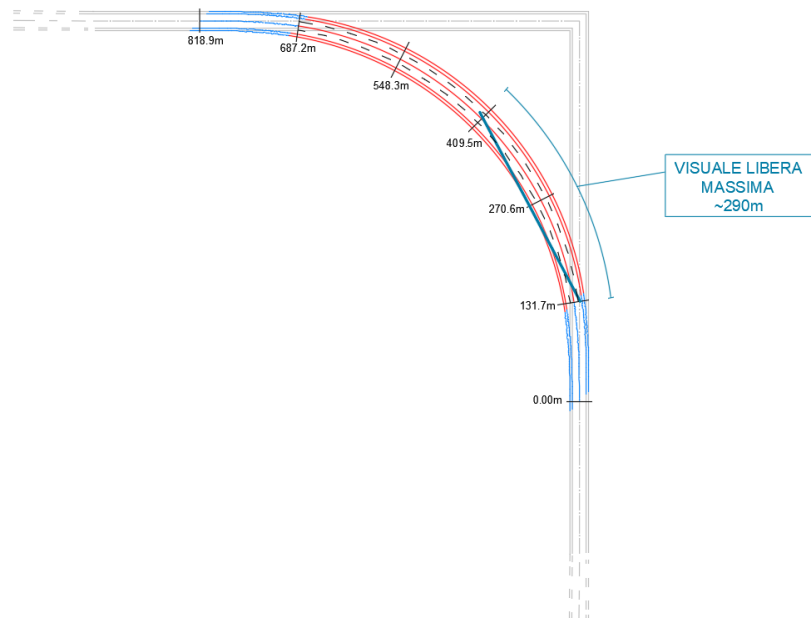


Figura B.8: $\alpha = 80^\circ$ - R=437.44m - 100Km/h

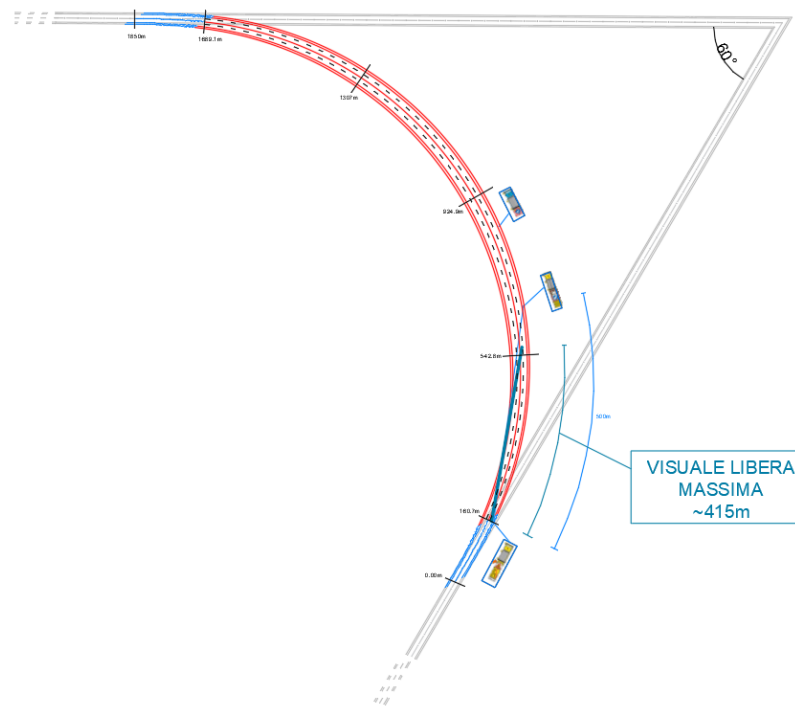


Figura B.9: $\alpha = 60^\circ$ - R=806.5m - 130Km/h

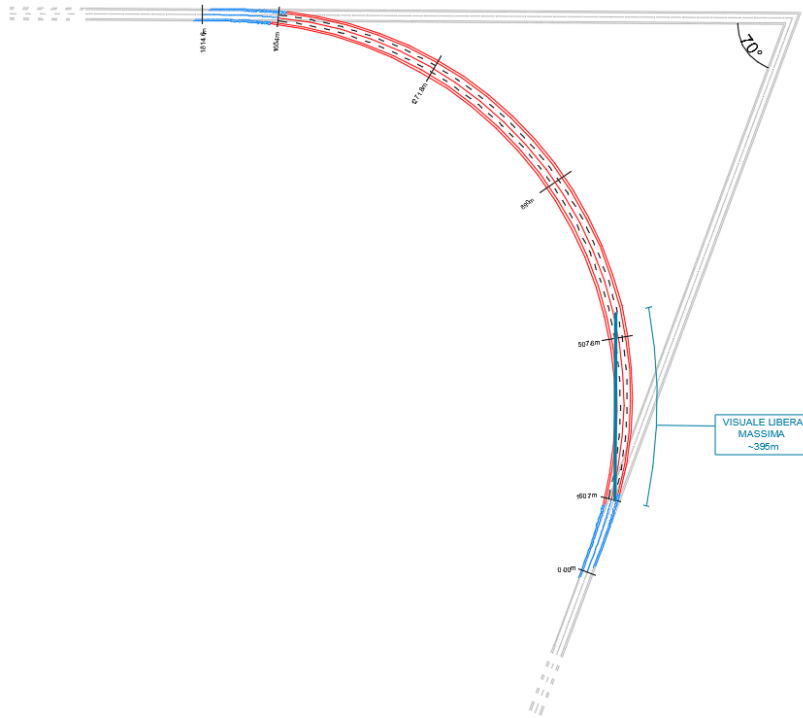


Figura B.10: $\alpha = 70^\circ$ - $R=806.5m$ - $130Km/h$

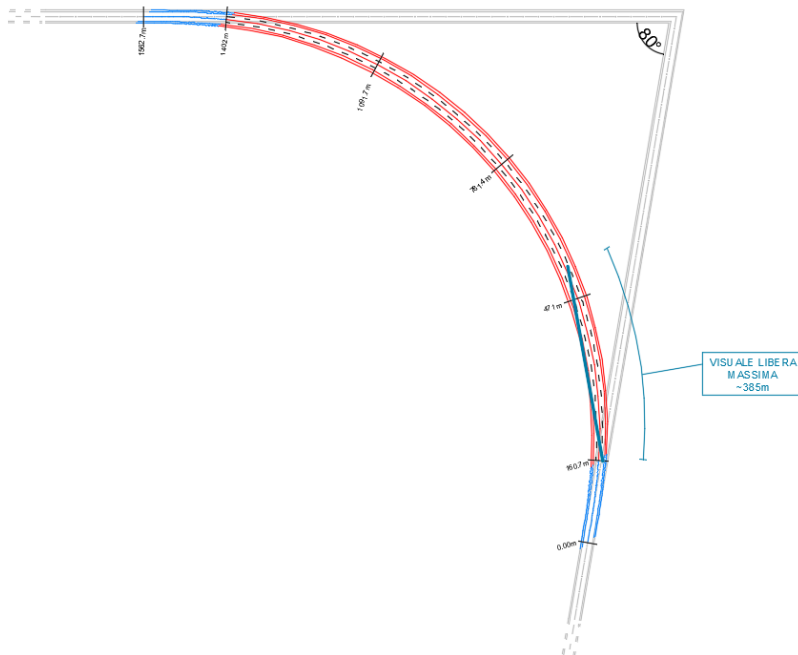


Figura B.11: $\alpha = 80^\circ$ - $R=806.5m$ - $130Km/h$

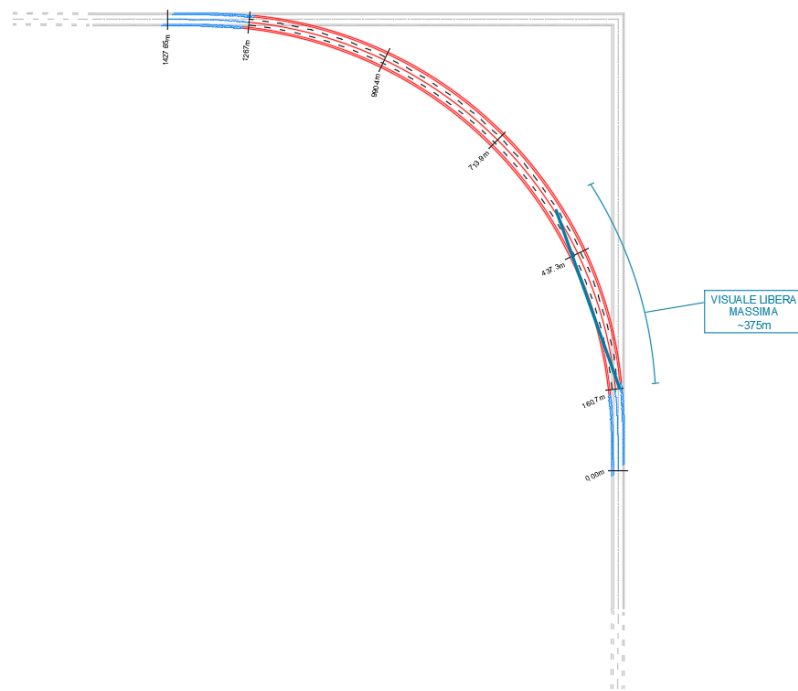


Figura B.12: $\alpha = 90^\circ$ - R=806.5m - 130Km/h

B.2 Visibilità impedita dai New Jersey o altri fattori

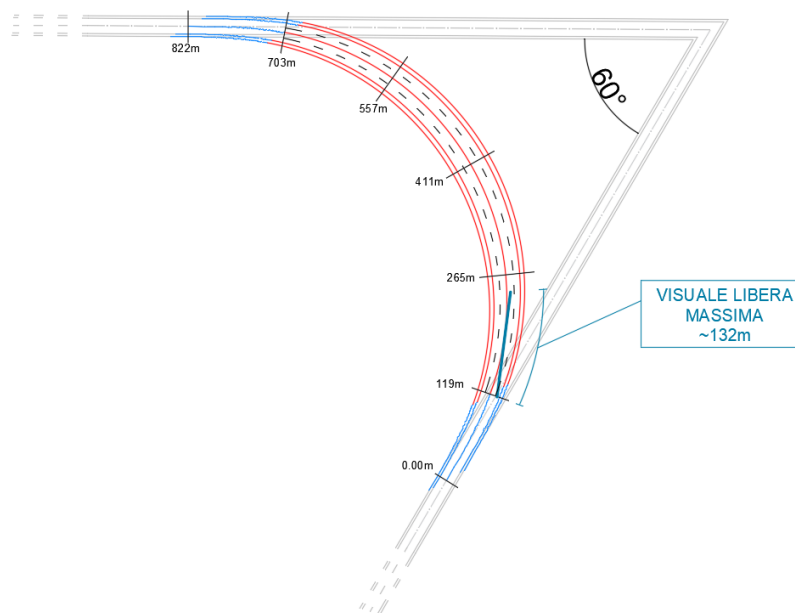


Figura B.13: $\alpha = 60^\circ$ - R=335,7m - 90Km/h

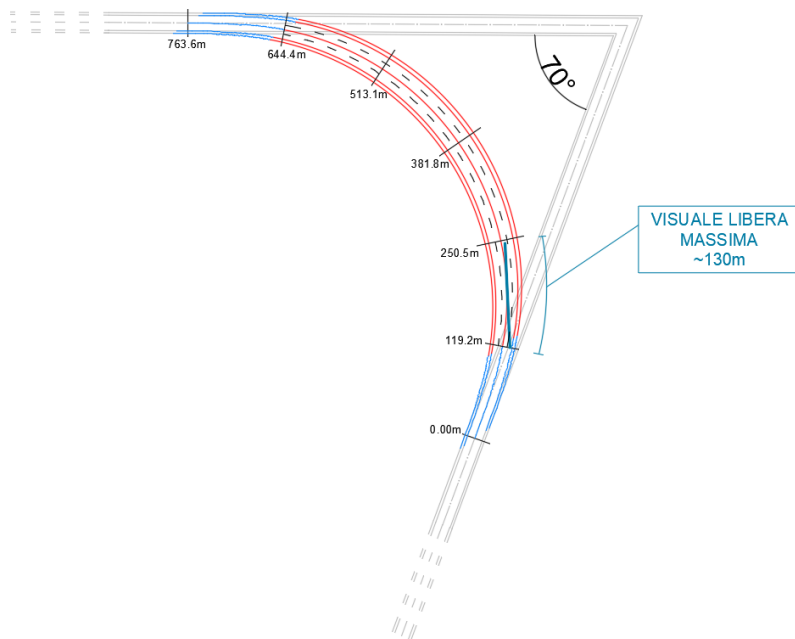


Figura B.14: $\alpha = 70^\circ$ - R=335,7m - 90Km/h

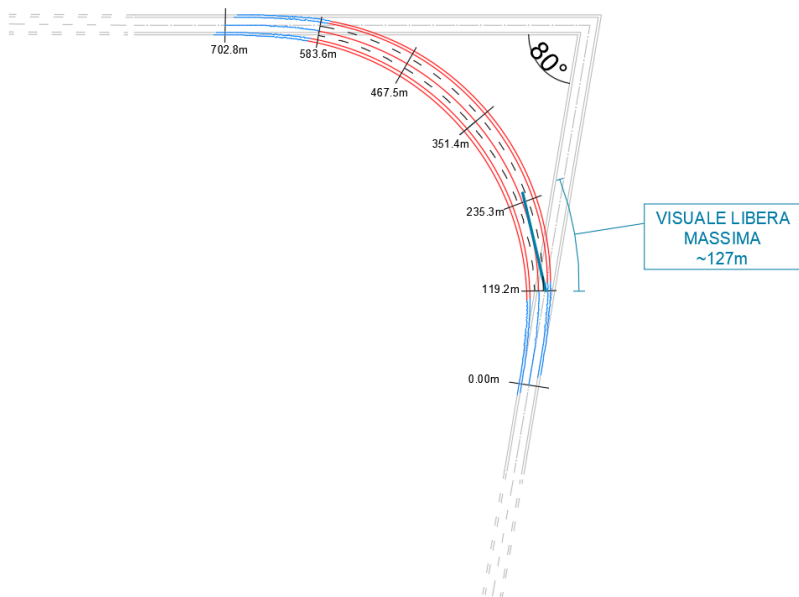


Figura B.15: $\alpha = 80^\circ$ - R=335,7m - 90Km/h

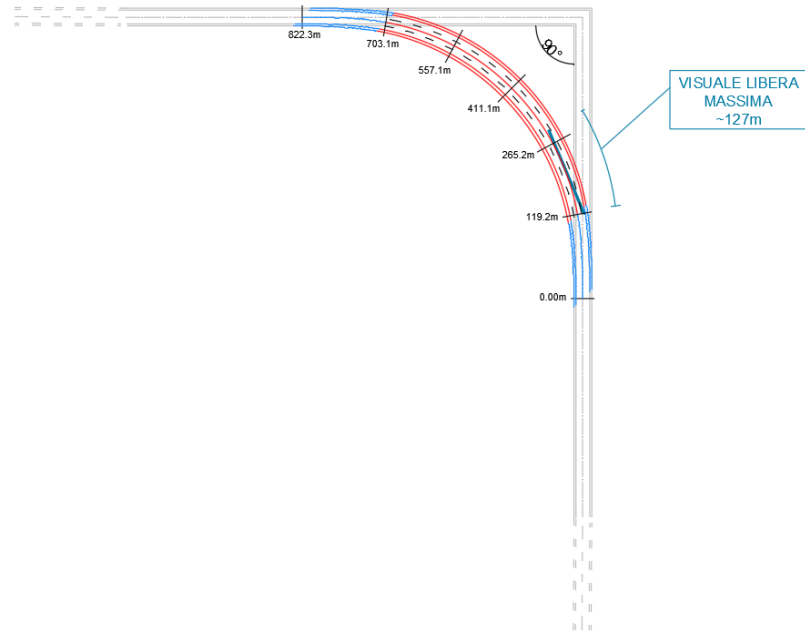


Figura B.16: $\alpha = 90^\circ$ - $R=335,7m$ - $90Km/h$

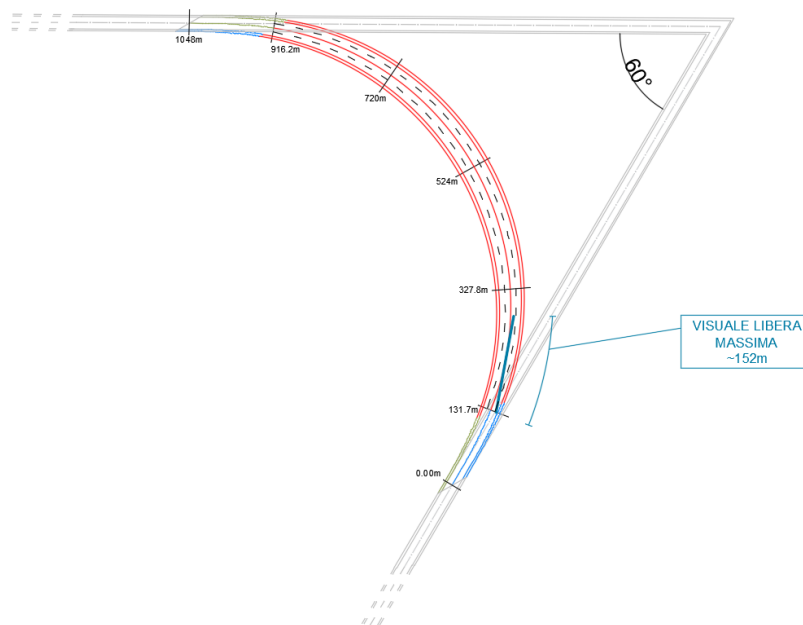


Figura B.17: $\alpha = 60^\circ$ - $R=437,44m$ - $100Km/h$

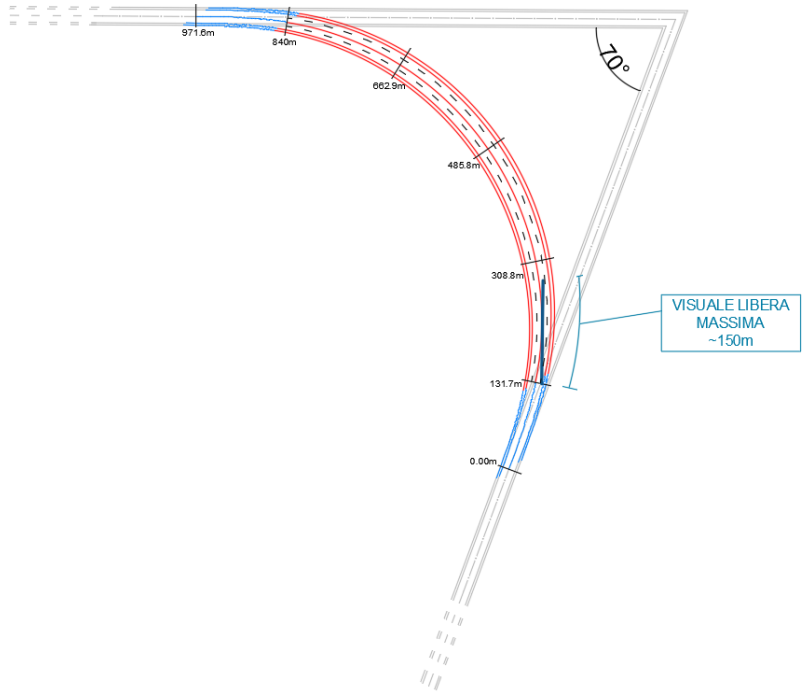


Figura B.18: $\alpha = 70^\circ$ - R=437.44m - 100Km/h

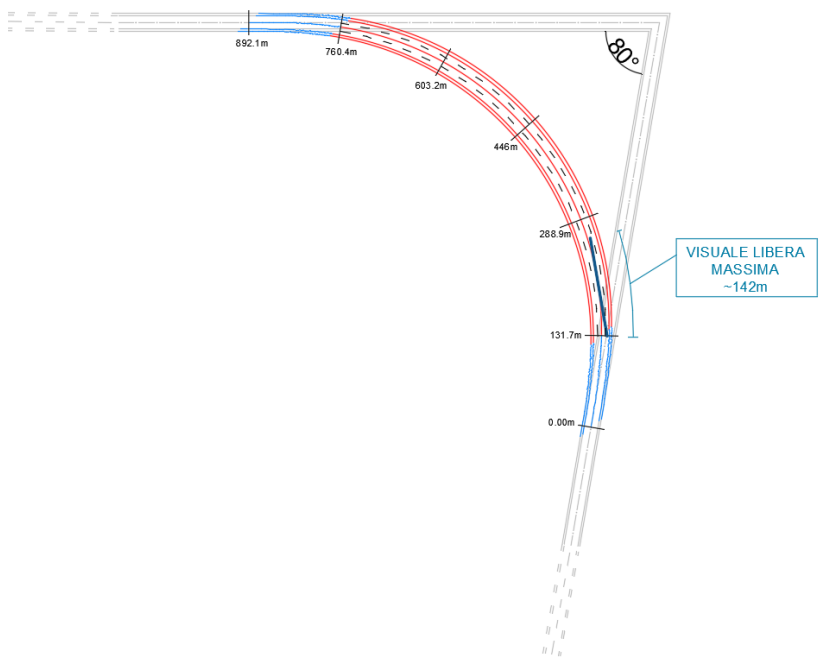


Figura B.19: $\alpha = 80^\circ$ - R=437.44m - 100Km/h

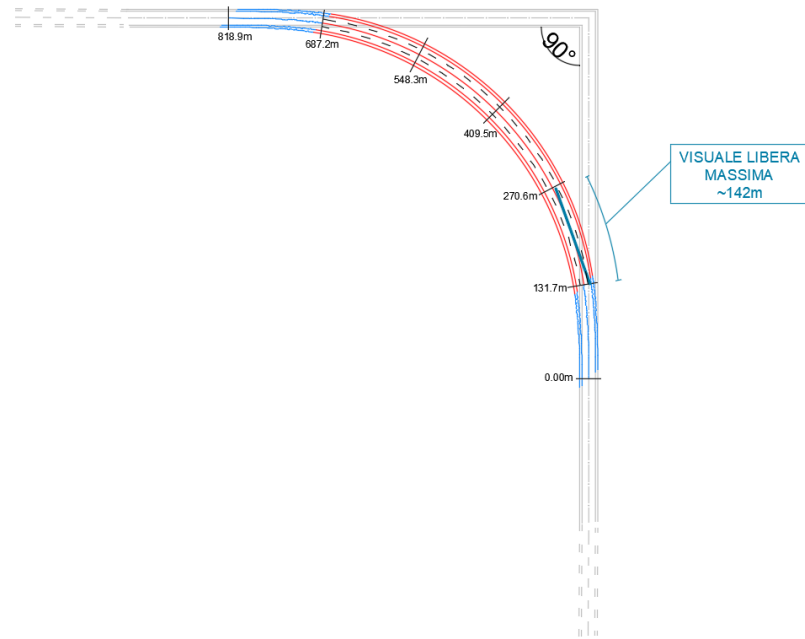


Figura B.20: $\alpha = 80^\circ$ - $R=437.44m$ - $100Km/h$

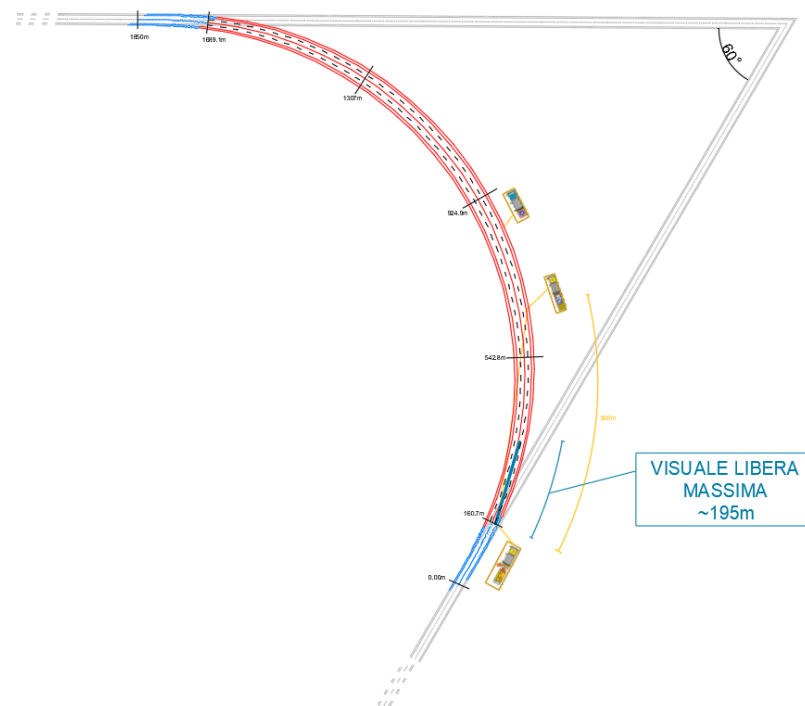


Figura B.21: $\alpha = 60^\circ$ - $R=806.5m$ - $130Km/h$

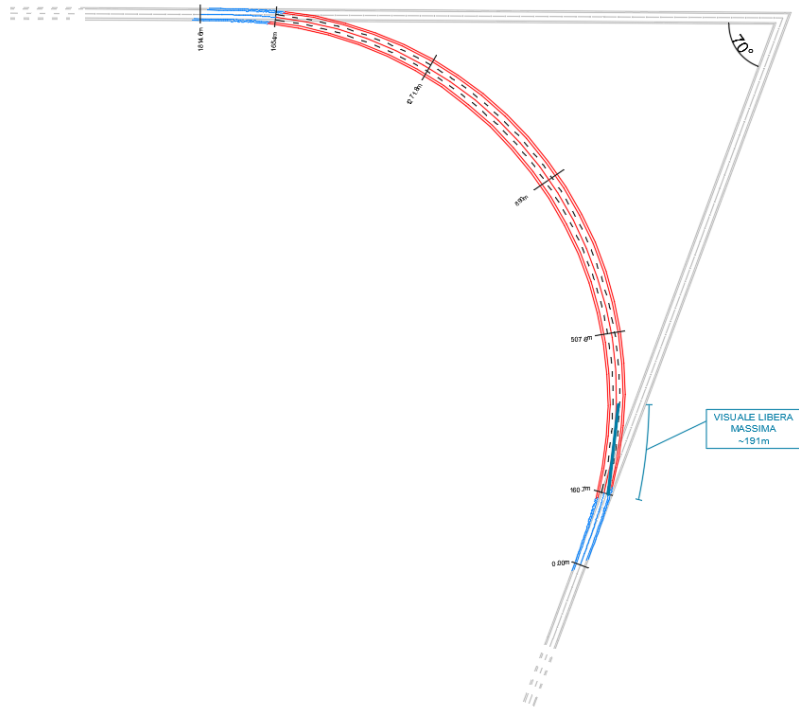


Figura B.22: $\alpha = 70^\circ$ - R=806.5m - 130Km/h

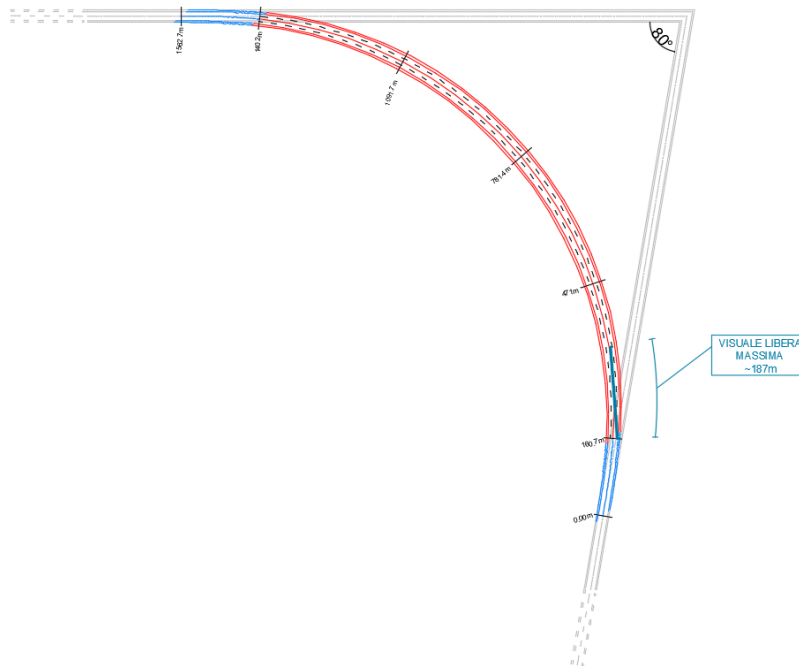


Figura B.23: $\alpha = 80^\circ$ - R=806.5m - 130Km/h

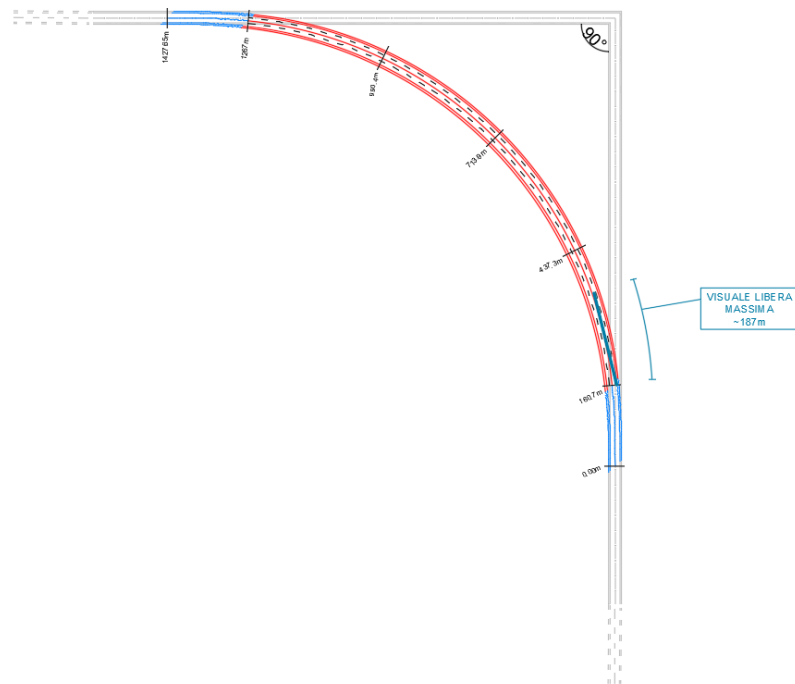


Figura B.24: $\alpha = 90^\circ$ - R=806.5m - 130Km/h

Curva sinistrorsa - Chiusura corsia di sorpasso - Veicolo che viaggia sulla corsia di sorpasso

C.1 Visibilità al di sopra dei New Jersey

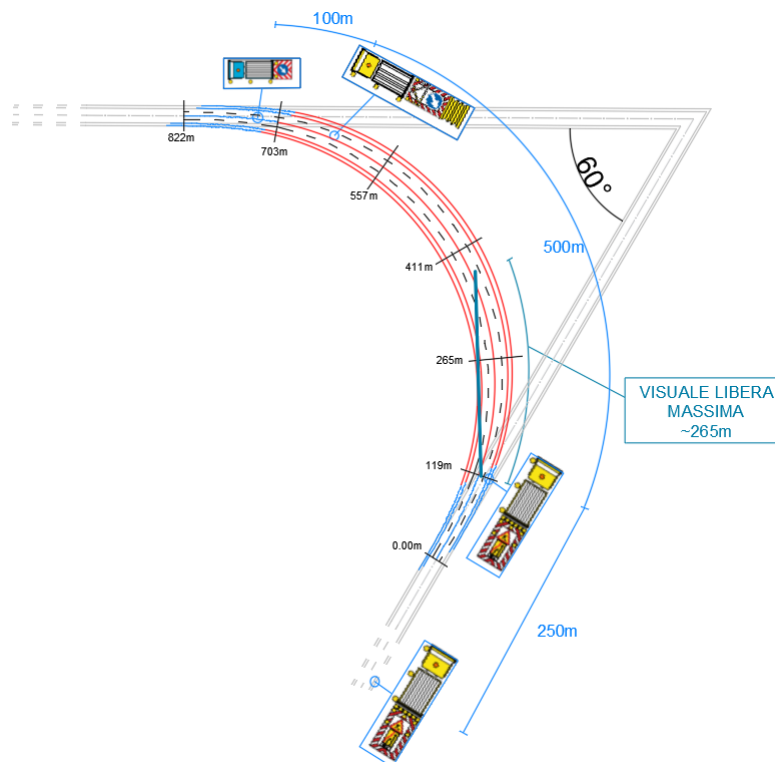


Figura C.1: $\alpha = 60^\circ$ - $R=335,7m$ - $90Km/h$

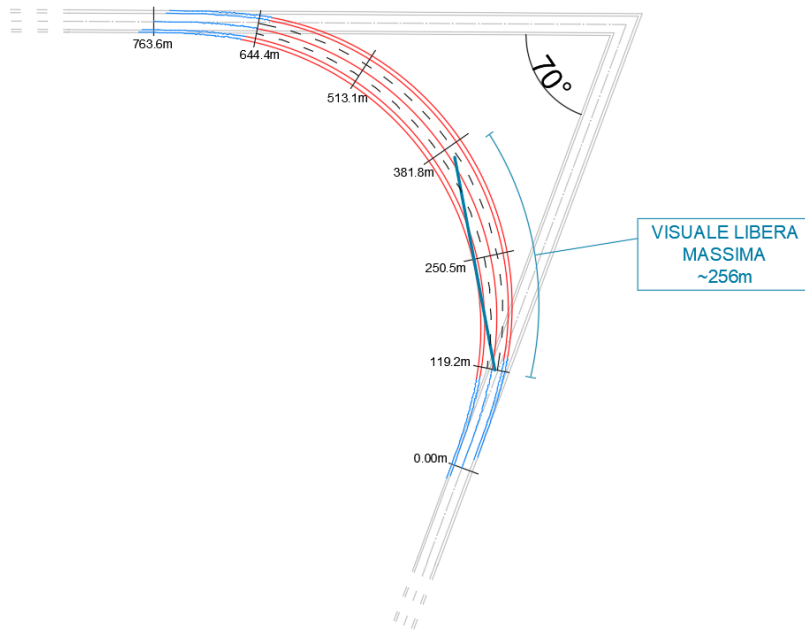


Figura C.2: $\alpha = 70^\circ$ - R=335,7m - 90Km/h

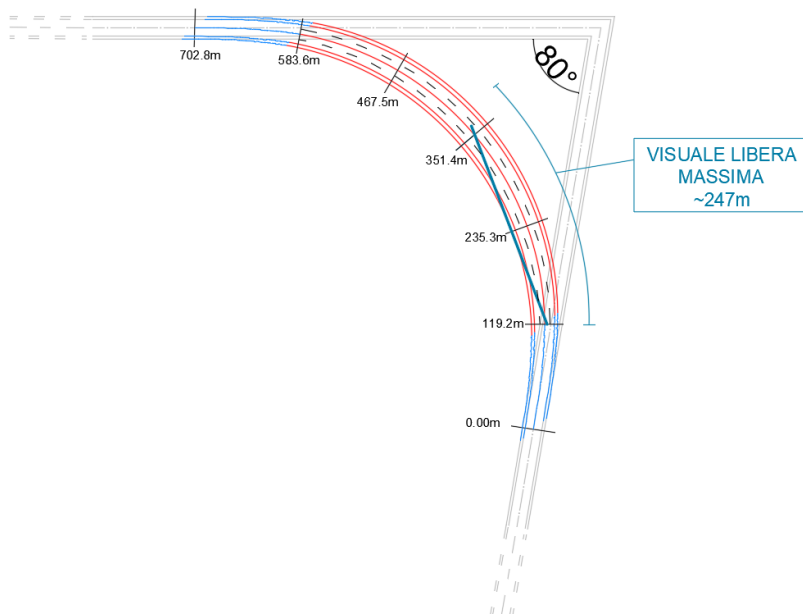


Figura C.3: $\alpha = 80^\circ$ - R=335,7m - 90Km/h

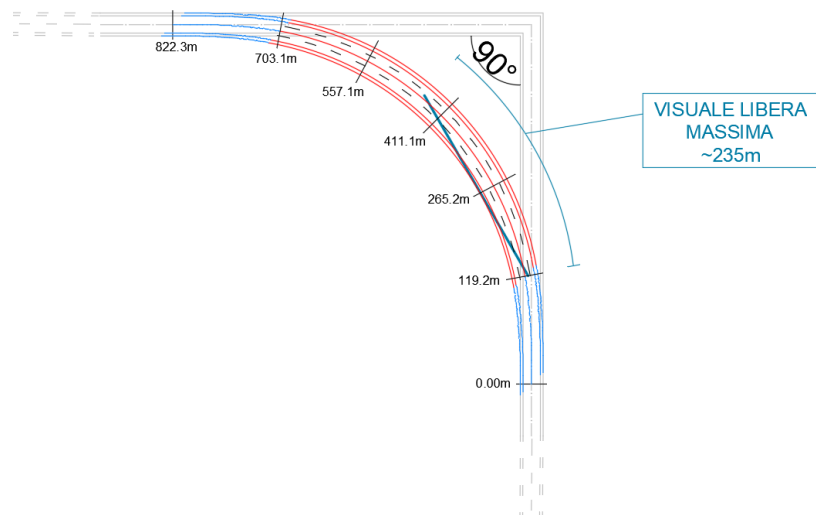


Figura C.4: $\alpha = 90^\circ$ - R=335,7m - 90Km/h

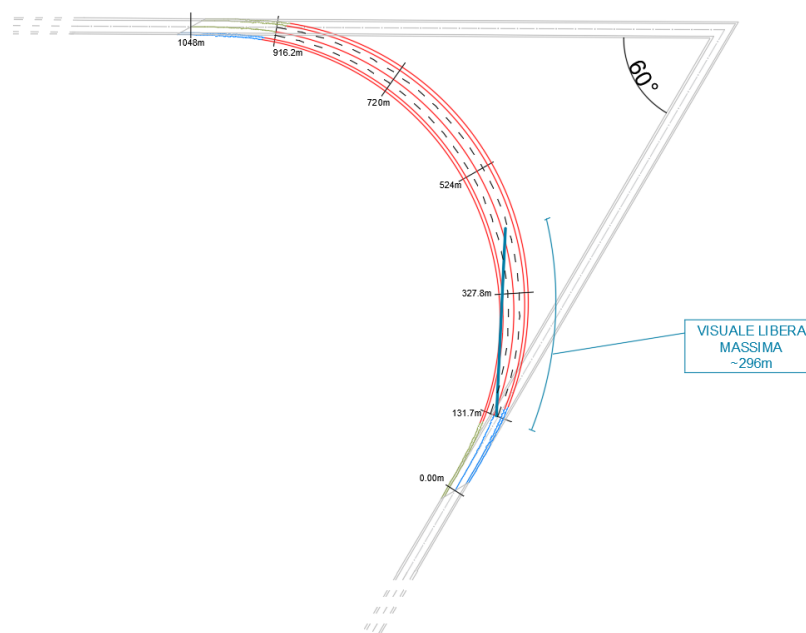


Figura C.5: $\alpha = 60^\circ$ - R=437.44m - 100Km/h

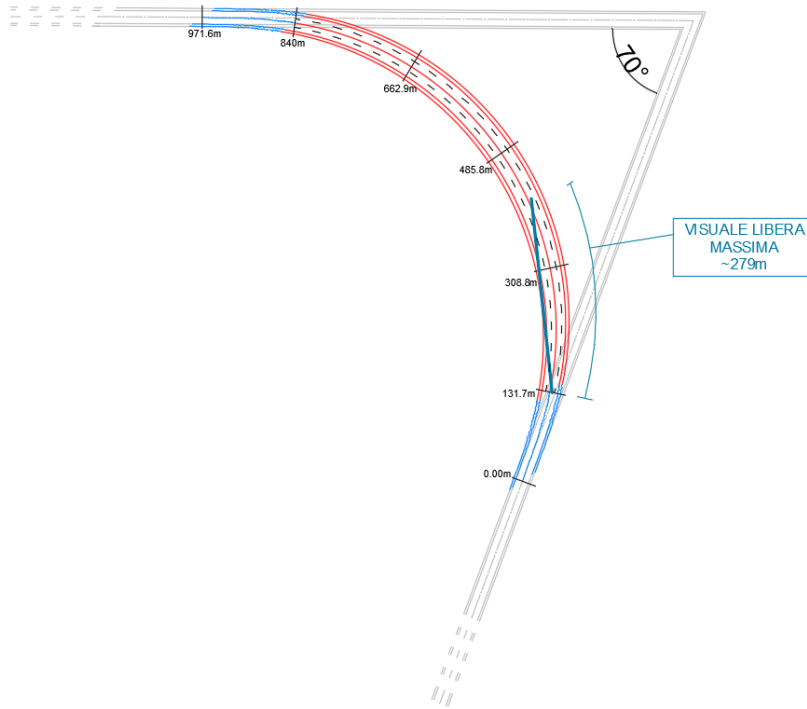


Figura C.6: $\alpha = 70^\circ$ - R=437.44m - 100Km/h

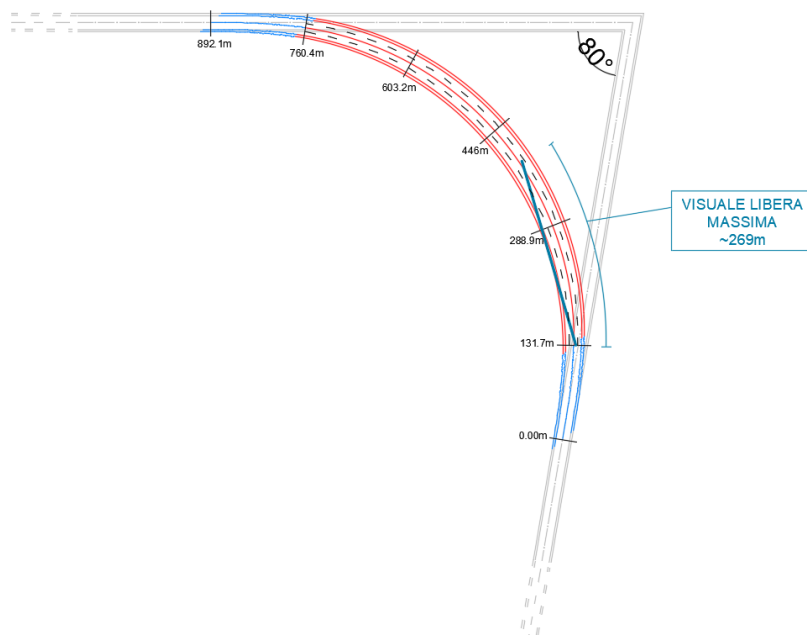


Figura C.7: $\alpha = 80^\circ$ - R=437.44m - 100Km/h

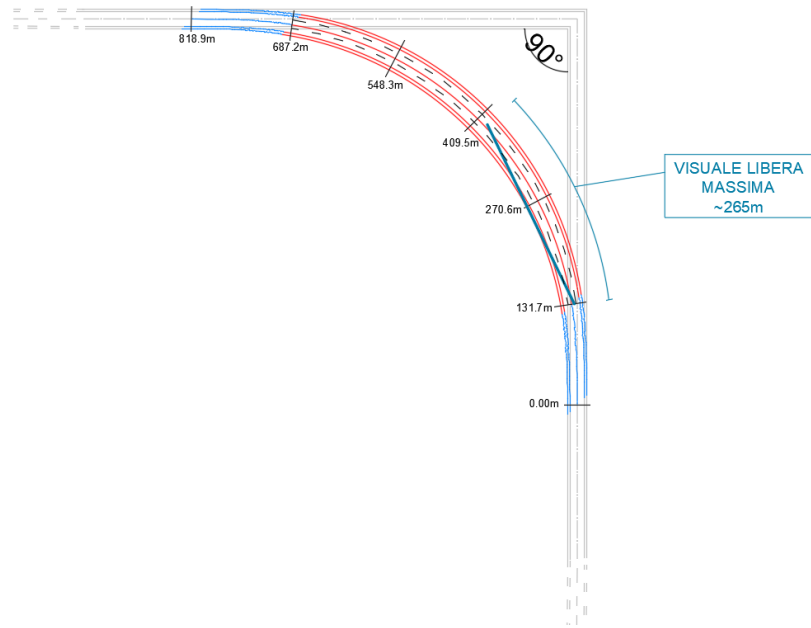


Figura C.8: $\alpha = 80^\circ$ - $R=437.44m$ - 100Km/h

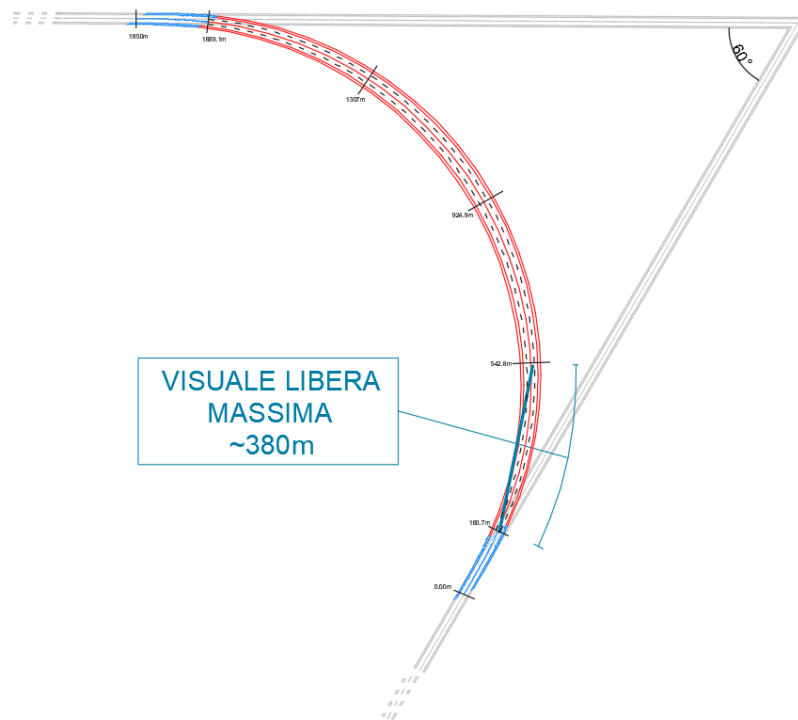


Figura C.9: $\alpha = 60^\circ$ - $R=806.5m$ - 130Km/h

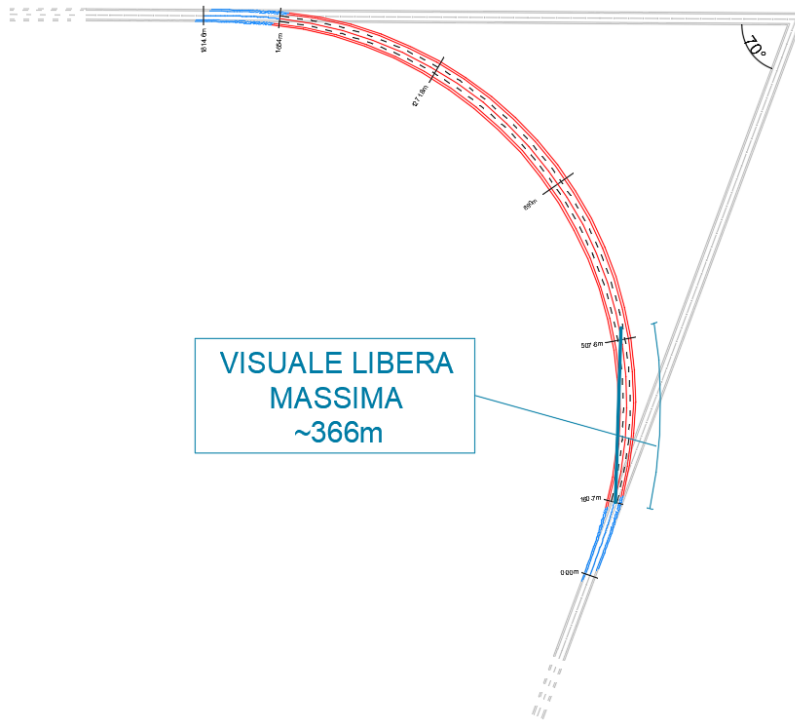


Figura C.10: $\alpha = 70^\circ$ - $R=806.5\text{m}$ - 130Km/h

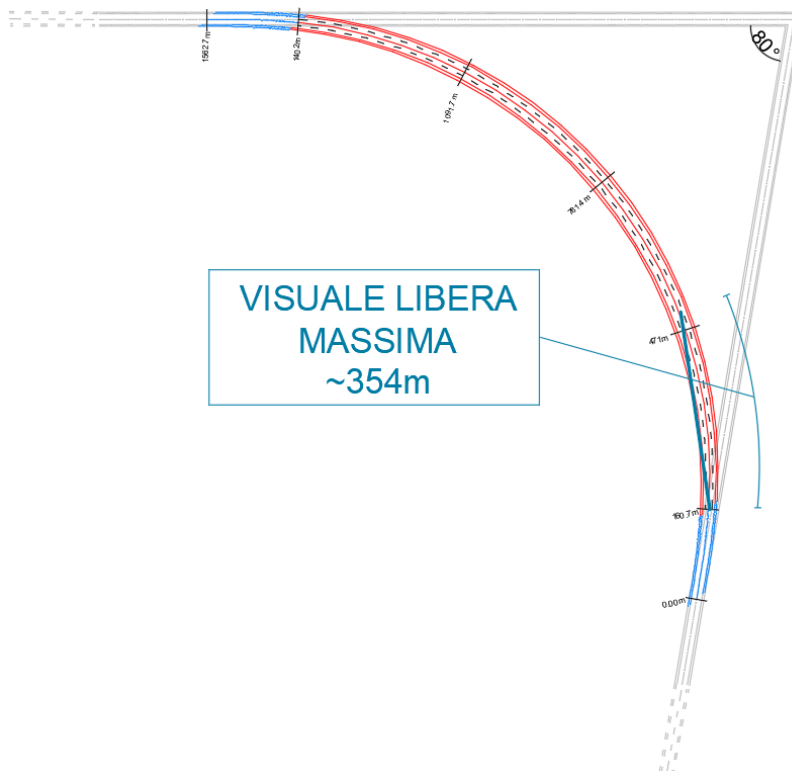


Figura C.11: $\alpha = 80^\circ$ - $R=806.5\text{m}$ - 130Km/h

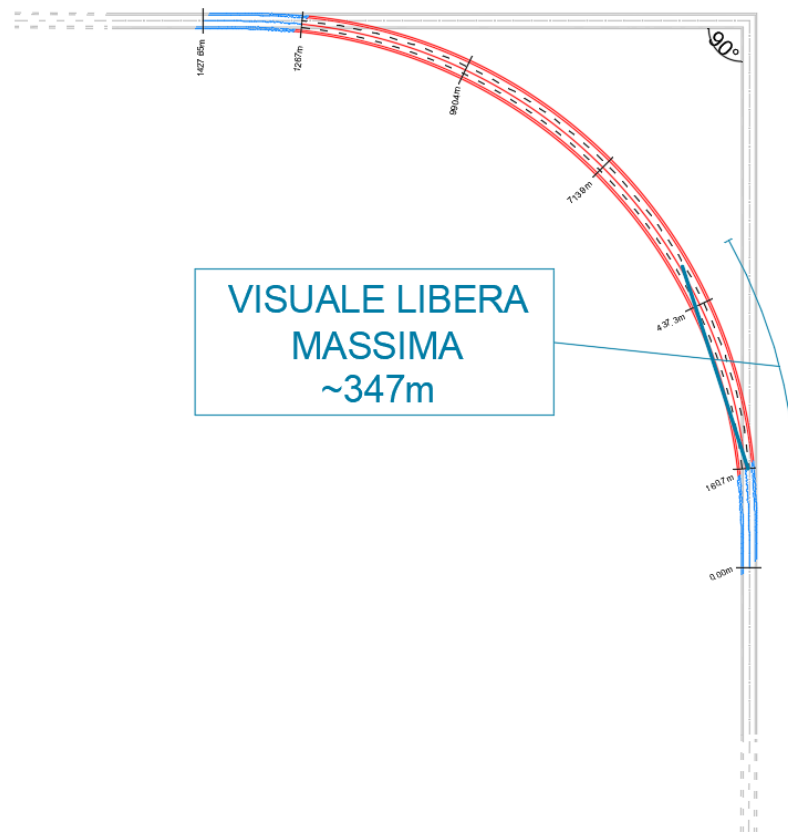


Figura C.12: $\alpha = 90^\circ$ - R=806.5m - 130Km/h

C.2 Visibilità impedita dai New Jersey o altri fattori

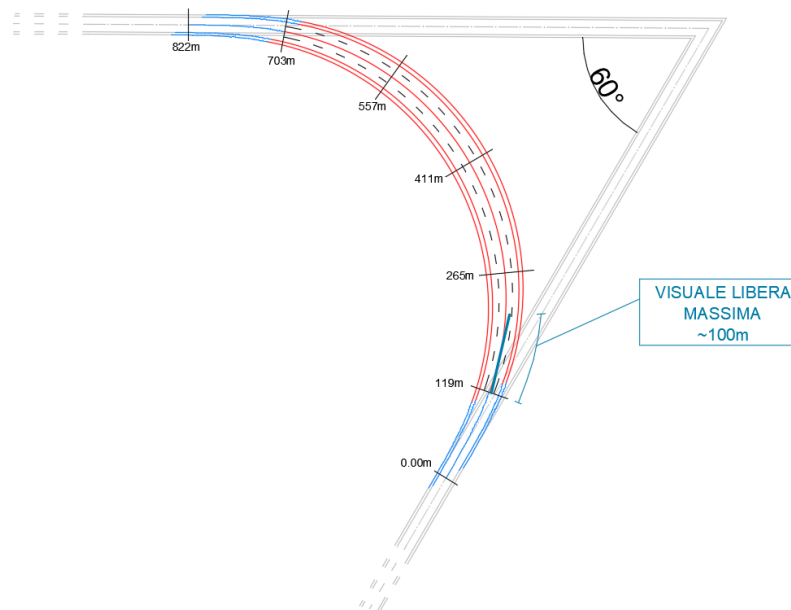


Figura C.13: $\alpha = 60^\circ$ - R=335,7m - 90Km/h

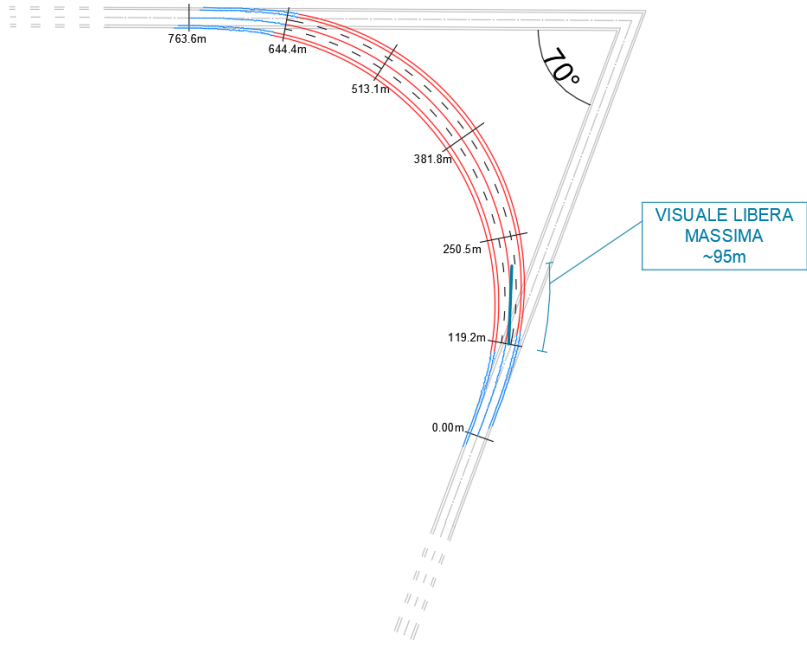


Figura C.14: $\alpha = 70^\circ$ - R=335,7m - 90Km/h

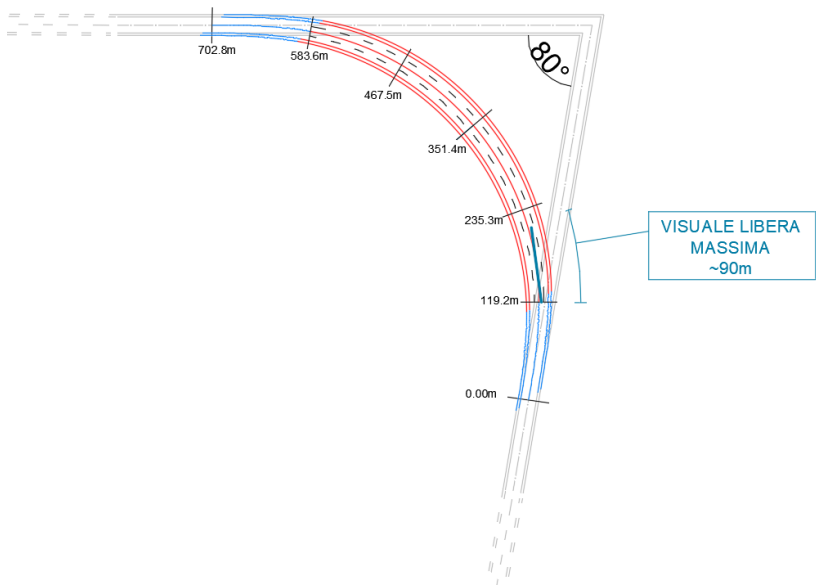


Figura C.15: $\alpha = 80^\circ$ - R=335,7m - 90Km/h

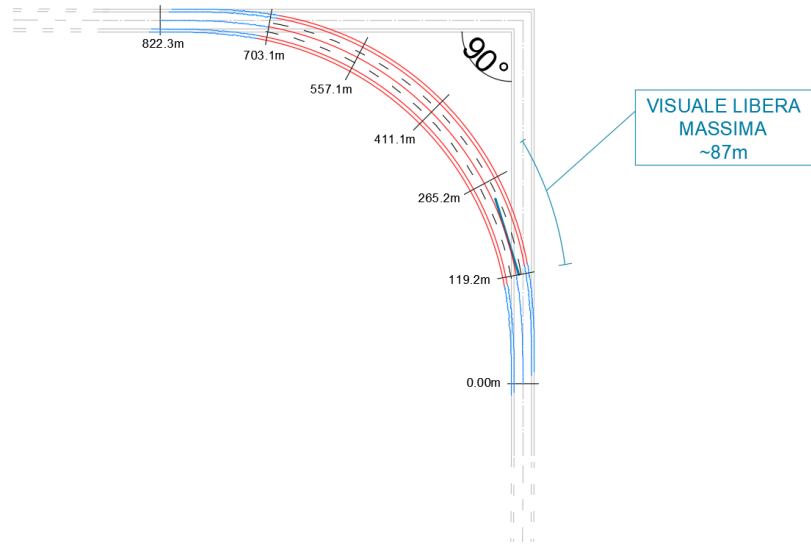


Figura C.16: $\alpha = 90^\circ$ - $R=335,7\text{m}$ - 90Km/h

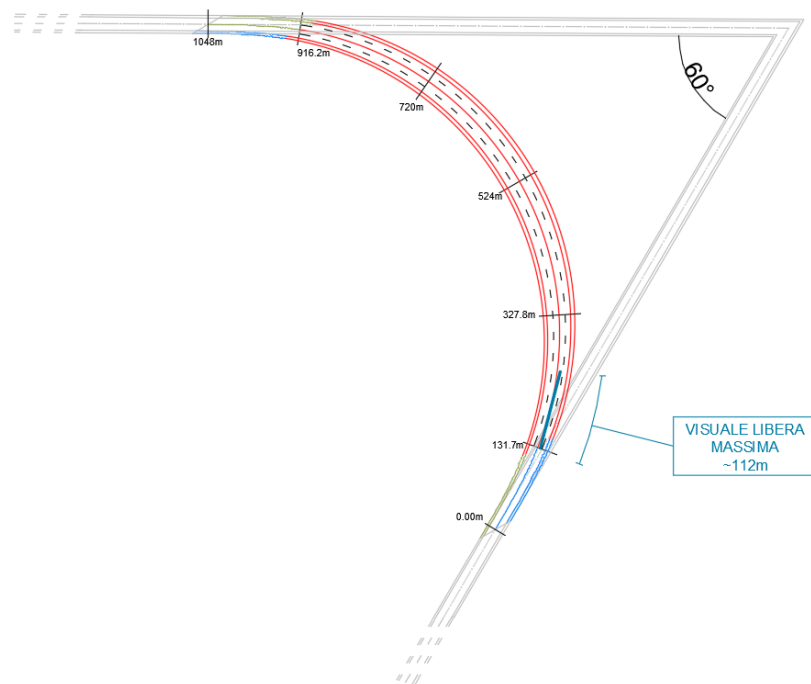


Figura C.17: $\alpha = 60^\circ$ - $R=437,44\text{m}$ - 100Km/h

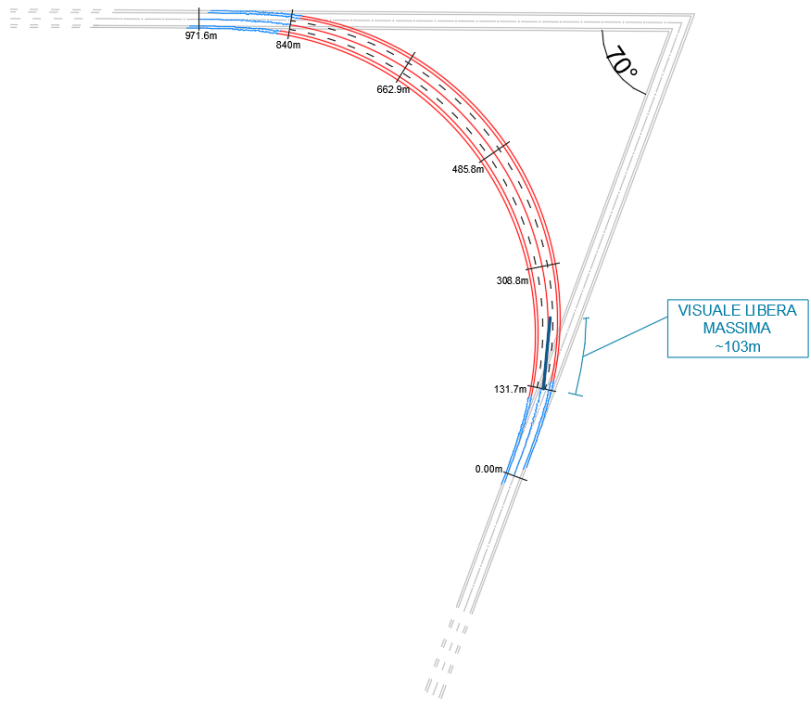


Figura C.18: $\alpha = 70^\circ$ - $R=437.44m$ - $100Km/h$

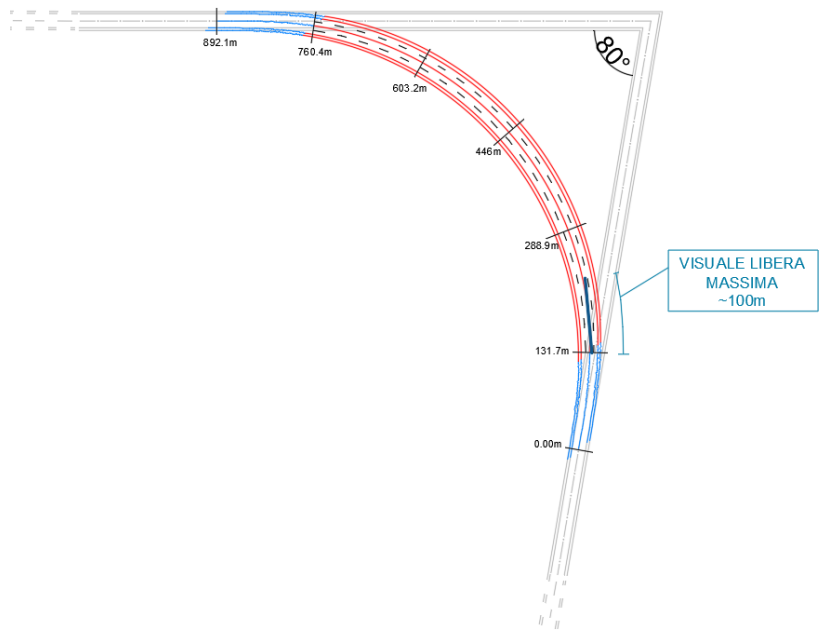


Figura C.19: $\alpha = 80^\circ$ - $R=437.44m$ - $100Km/h$

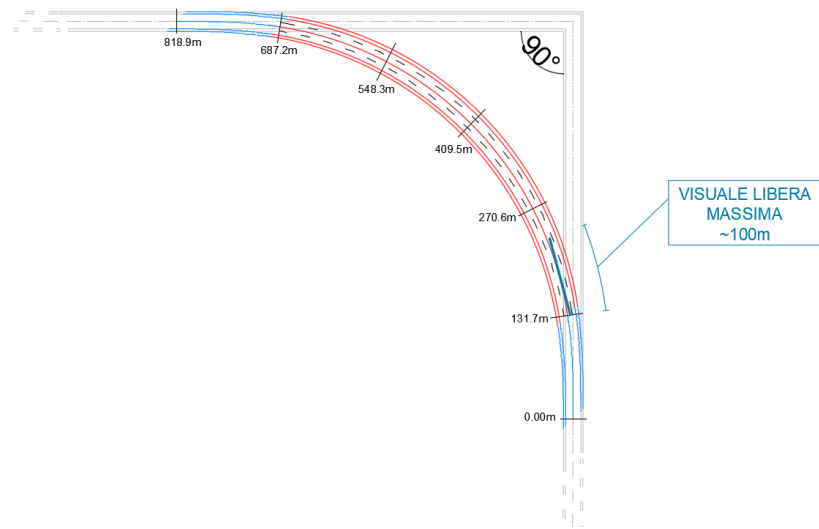


Figura C.20: $\alpha = 80^\circ$ - $R=437.44\text{m}$ - 100Km/h

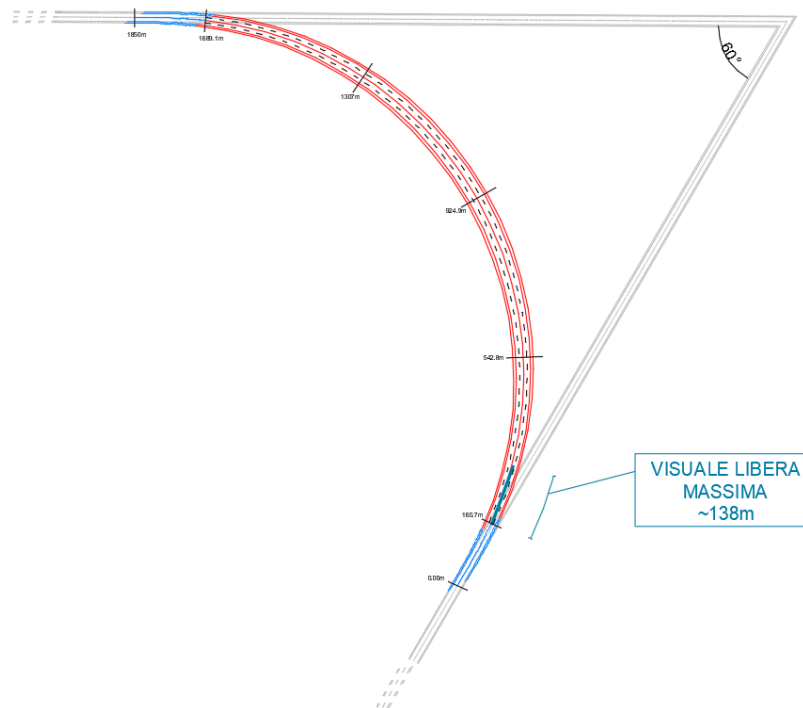


Figura C.21: $\alpha = 60^\circ$ - $R=806.5\text{m}$ - 130Km/h

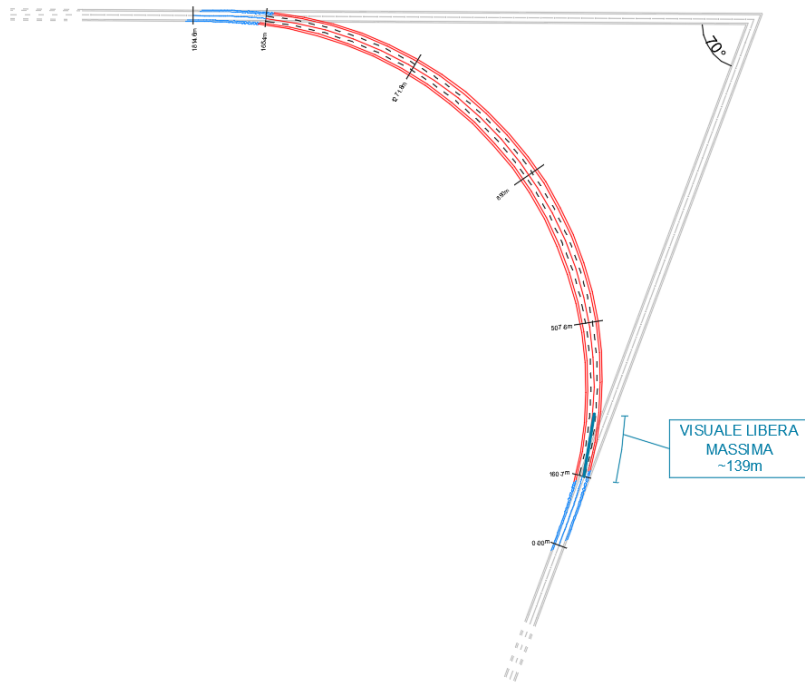


Figura C.22: $\alpha = 70^\circ$ - $R=806.5\text{m}$ - 130Km/h

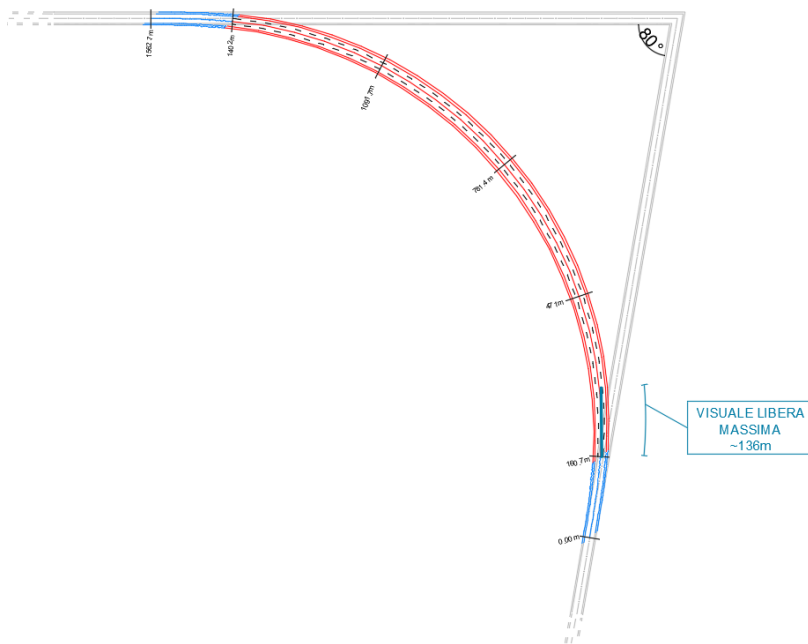


Figura C.23: $\alpha = 80^\circ$ - $R=806.5\text{m}$ - 130Km/h

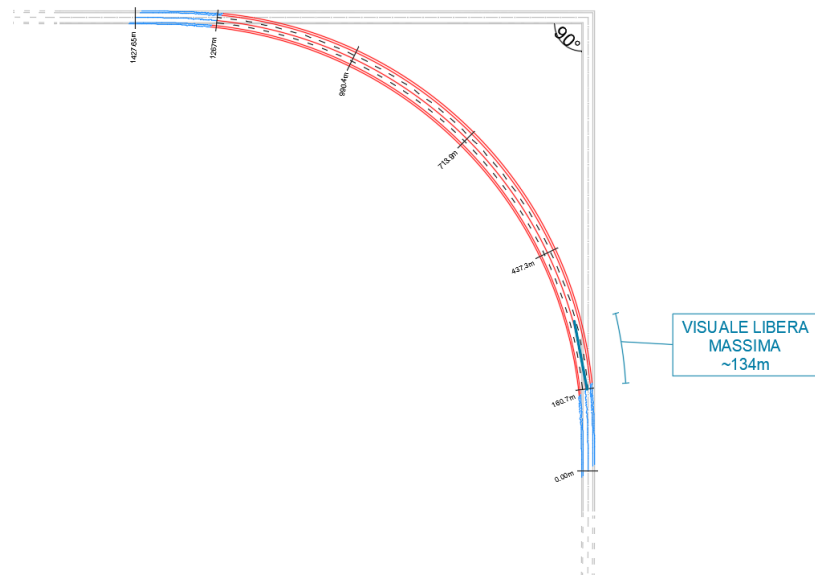


Figura C.24: $\alpha = 90^\circ$ - R=806.5m - 130Km/h

D.1 Chiusura corsia di marcia

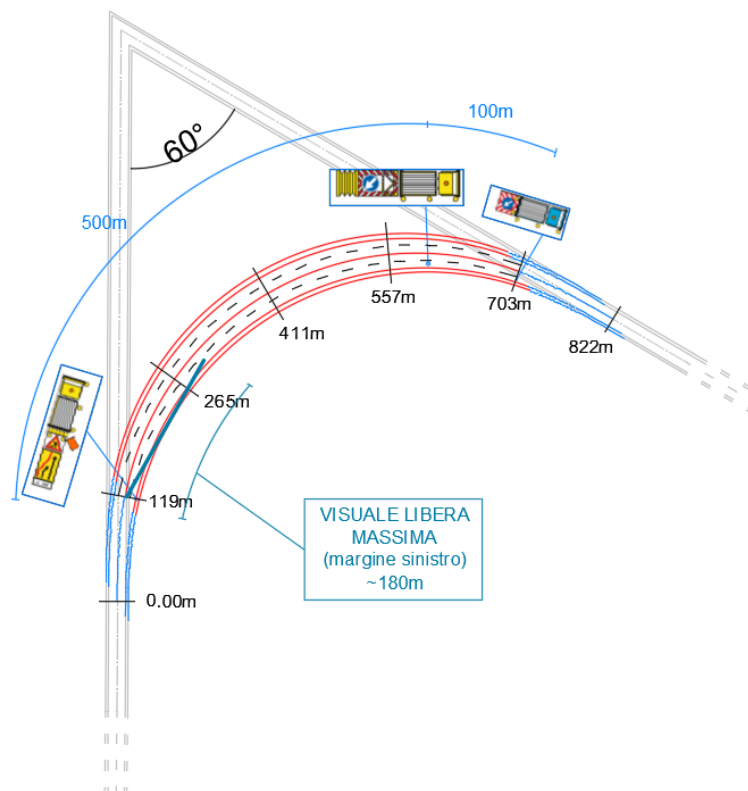


Figura D.1: $\alpha = 60^\circ$ - $R=335,7m$ - $90Km/h$

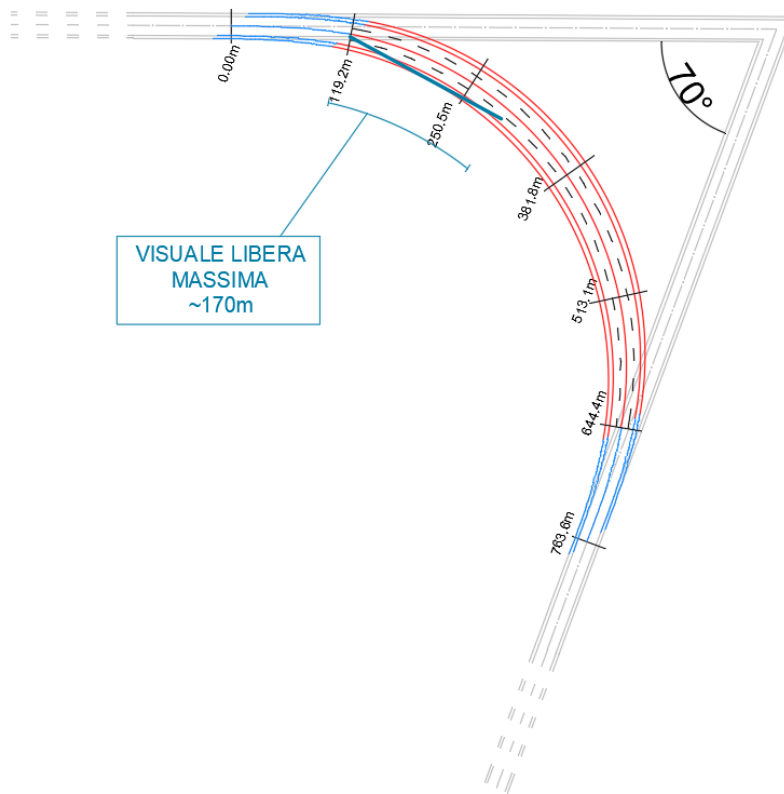


Figura D.2: $\alpha = 70^\circ$ - R=335,7m - 90Km/h

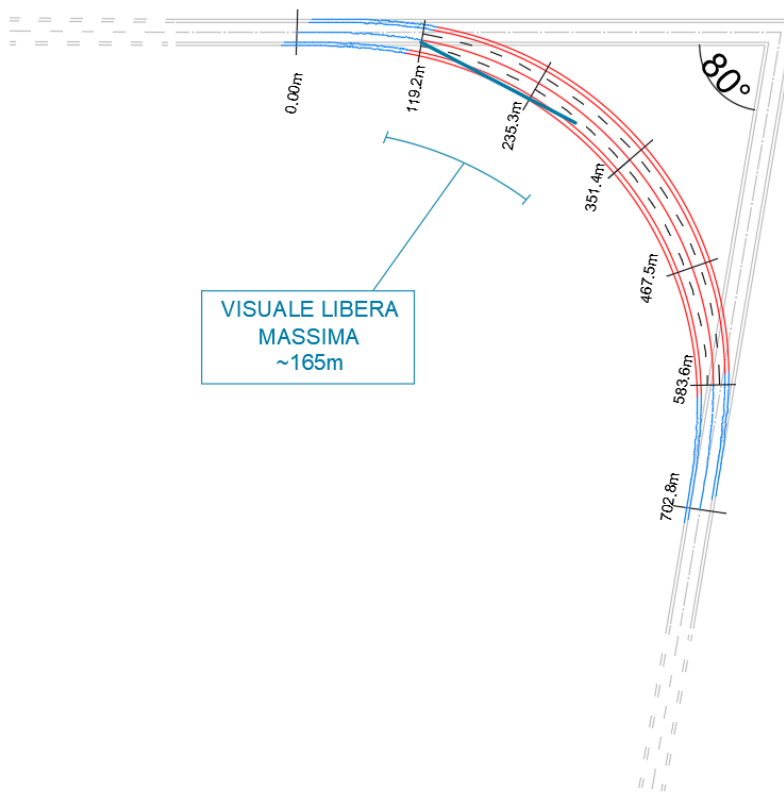


Figura D.3: $\alpha = 80^\circ$ - R=335,7m - 90Km/h

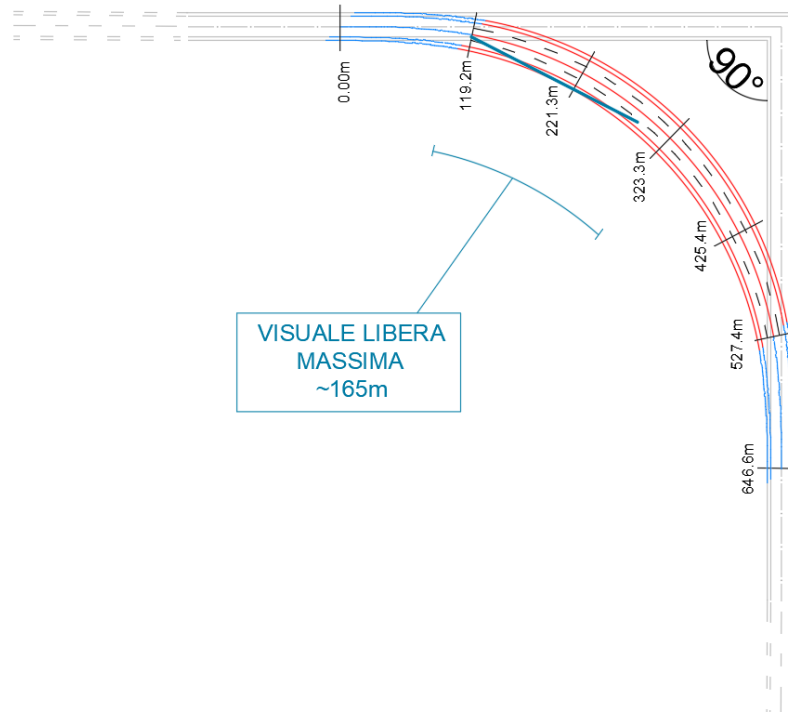


Figura D.4: $\alpha = 90^\circ$ - R=335,7m - 90Km/h

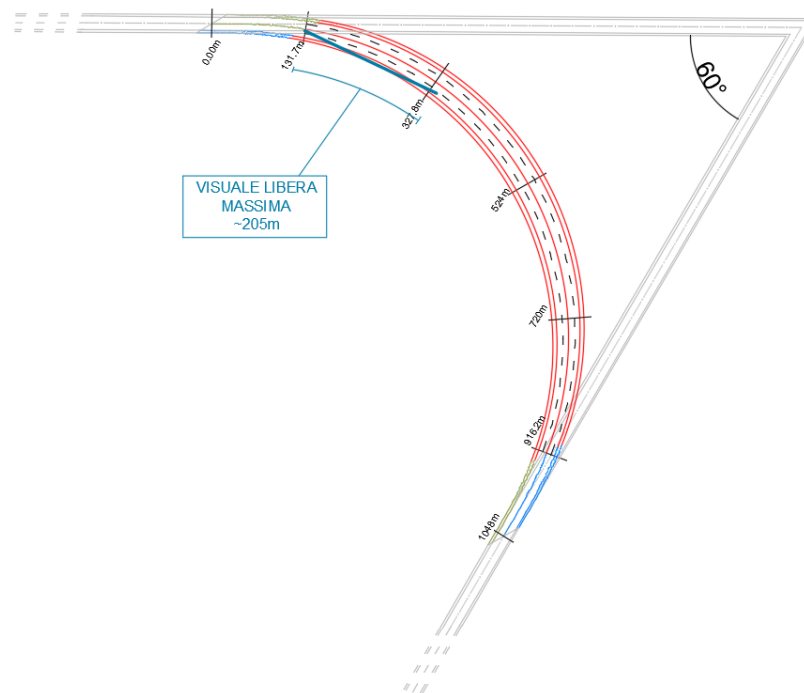


Figura D.5: $\alpha = 60^\circ$ - R=437.44m - 100Km/h

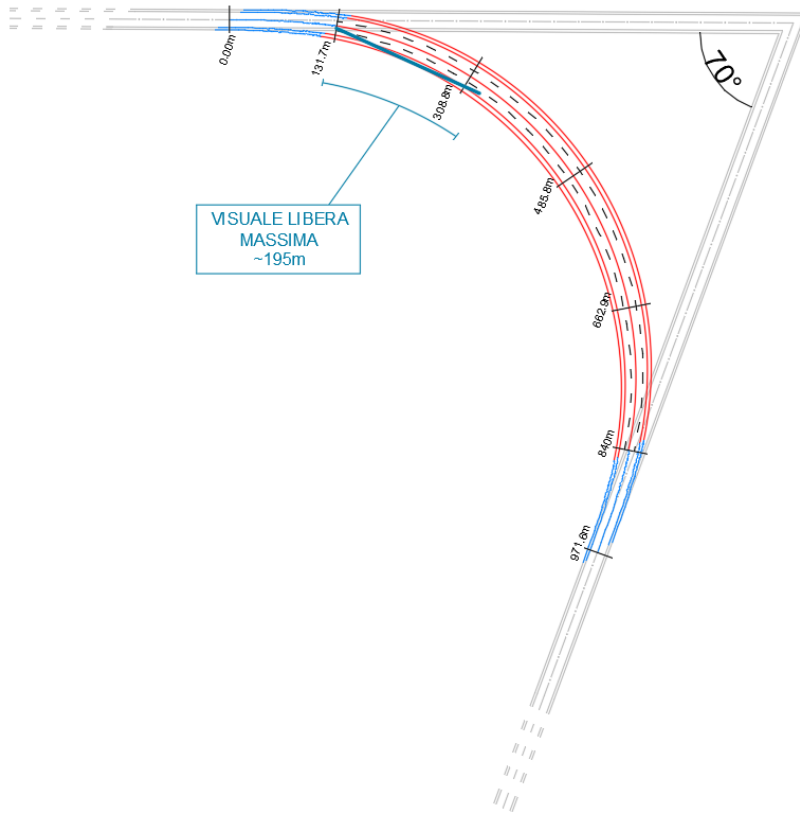


Figura D.6: $\alpha = 70^\circ$ - R=437.44m - 100Km/h

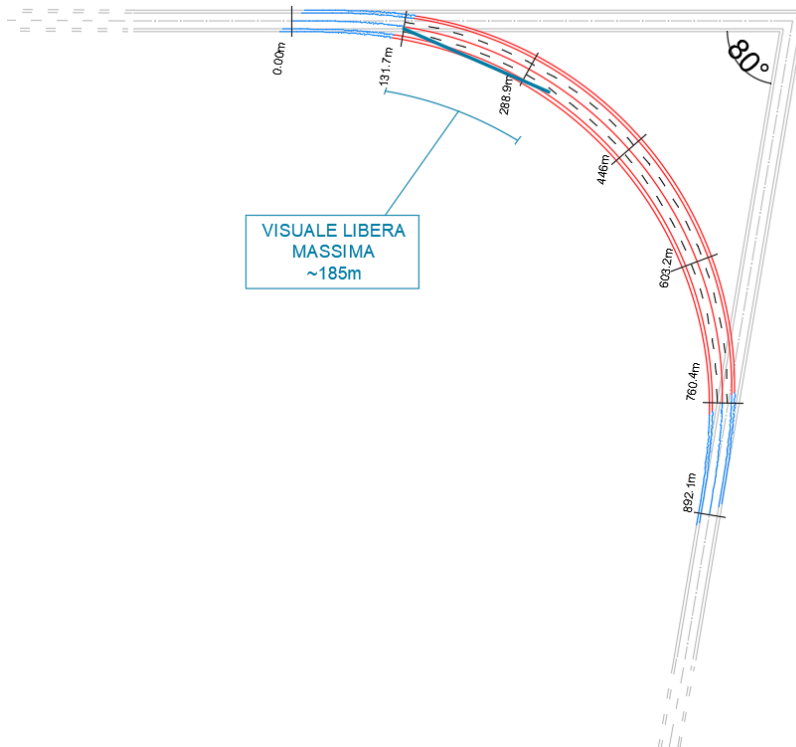


Figura D.7: $\alpha = 80^\circ$ - R=437.44m - 100Km/h

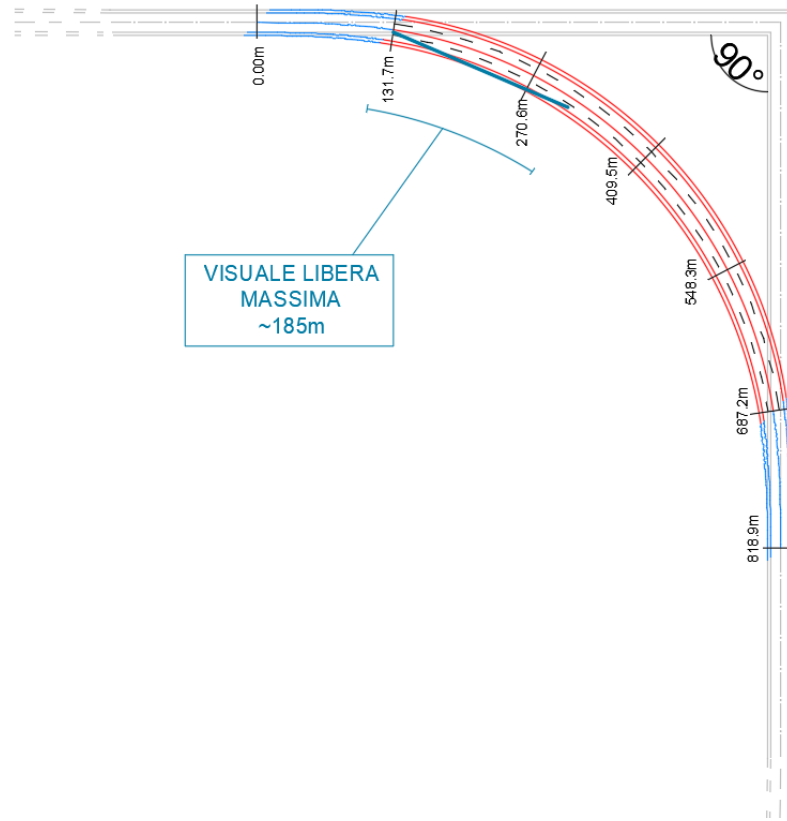


Figura D.8: $\alpha = 80^\circ$ - $R=437.44\text{m}$ - 100Km/h

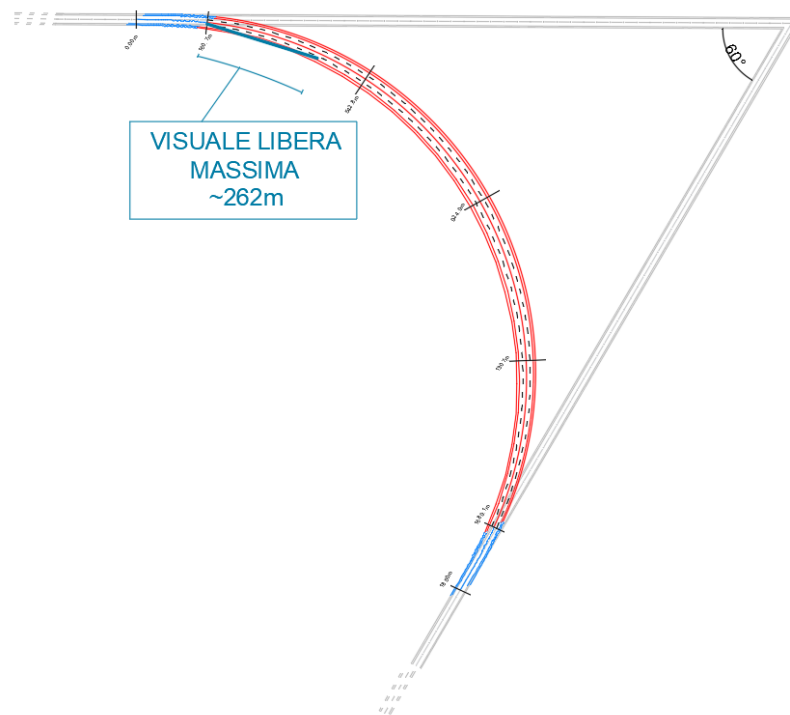


Figura D.9: $\alpha = 60^\circ$ - $R=806.5\text{m}$ - 130Km/h

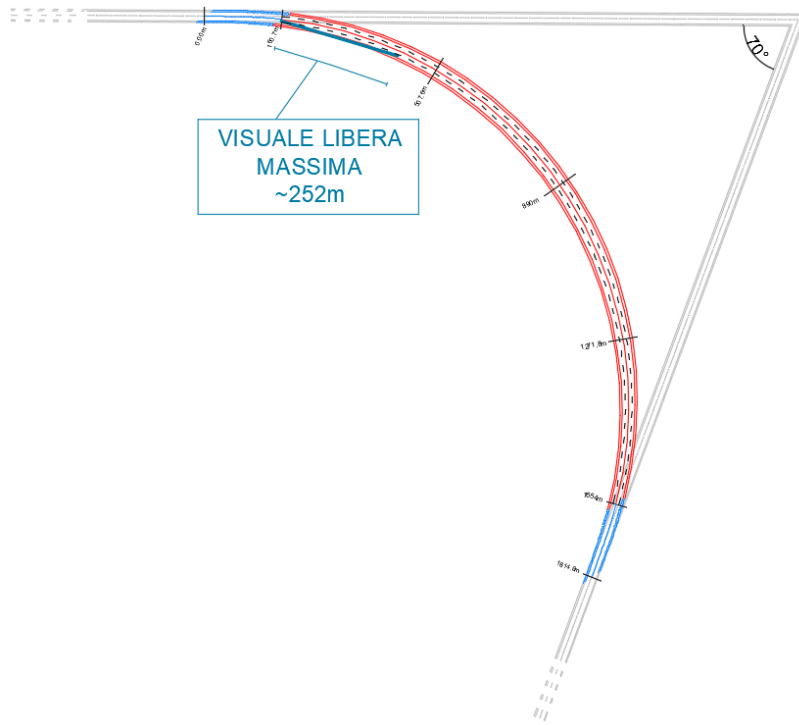


Figura D.10: $\alpha = 70^\circ$ - R=806.5m - 130Km/h

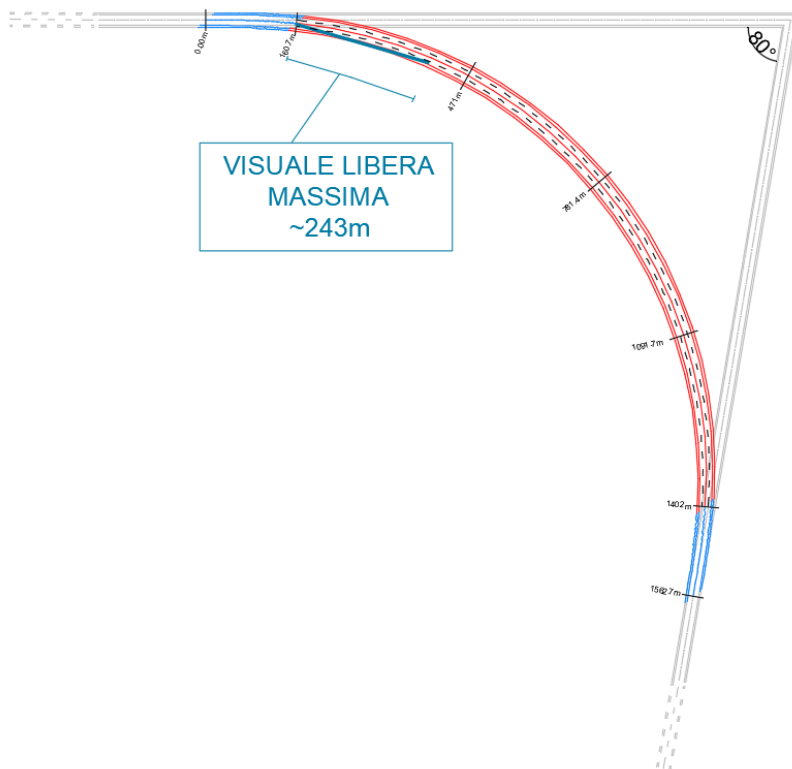


Figura D.11: $\alpha = 80^\circ$ - R=806.5m - 130Km/h

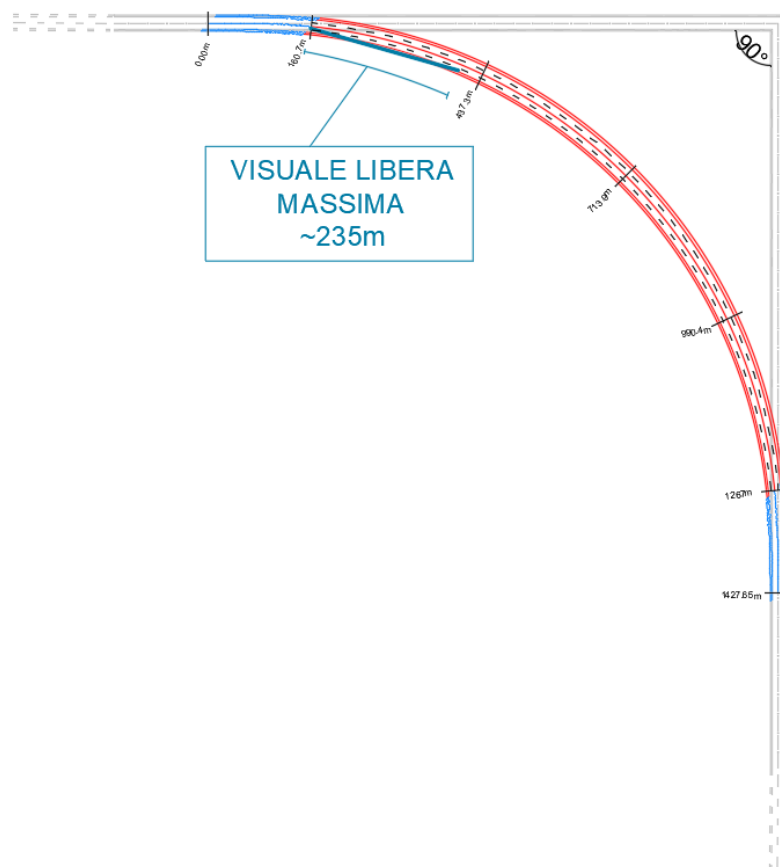


Figura D.12: $\alpha = 90^\circ$ - $R=806.5\text{m}$ - 130Km/h

D.2 Curva destrorsa - Chiusura corsia di sorpasso - Conducente che viaggia sulla corsia di marcia

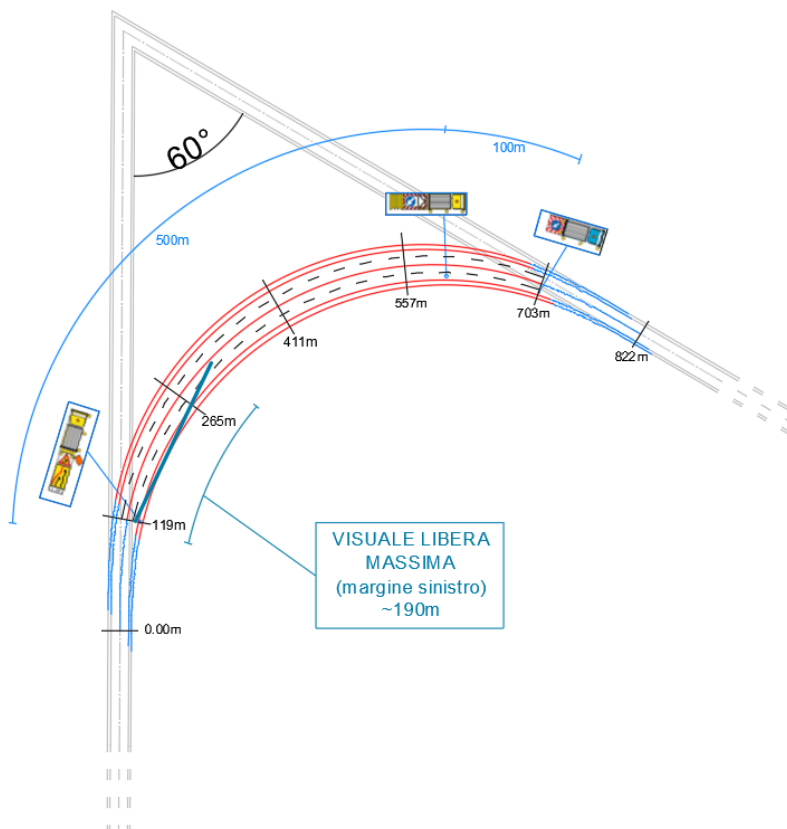


Figura D.13: $\alpha = 60^\circ$ - $R=335,7m$ - $90Km/h$

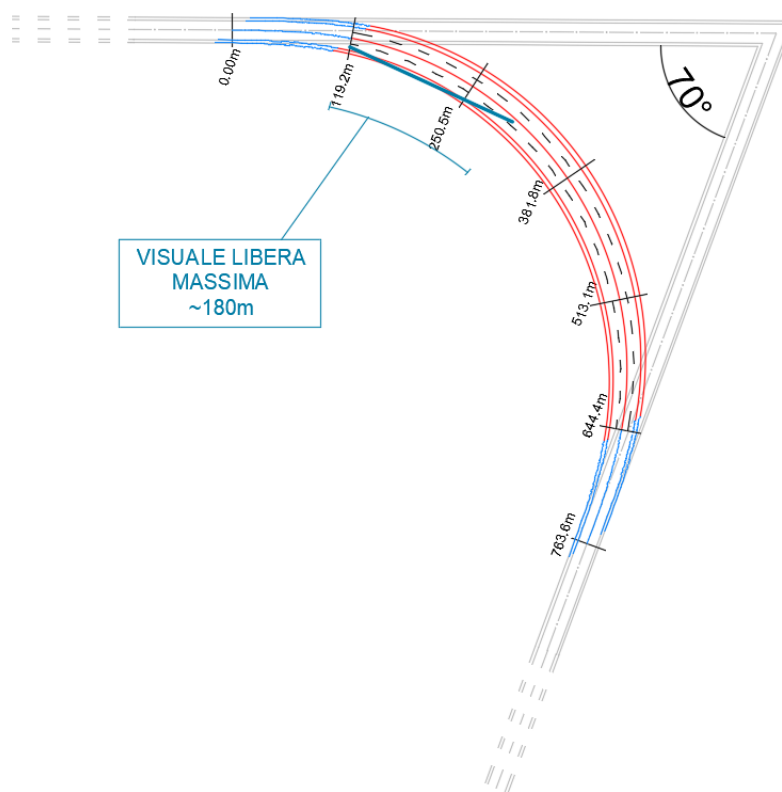


Figura D.14: $\alpha = 70^\circ$ - R=335,7m - 90Km/h

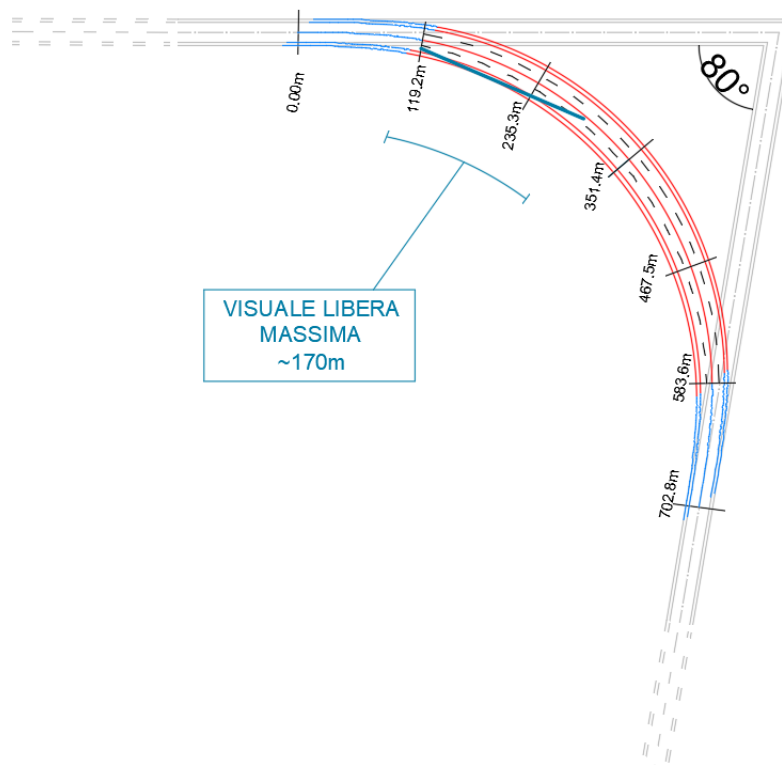


Figura D.15: $\alpha = 80^\circ$ - R=335,7m - 90Km/h

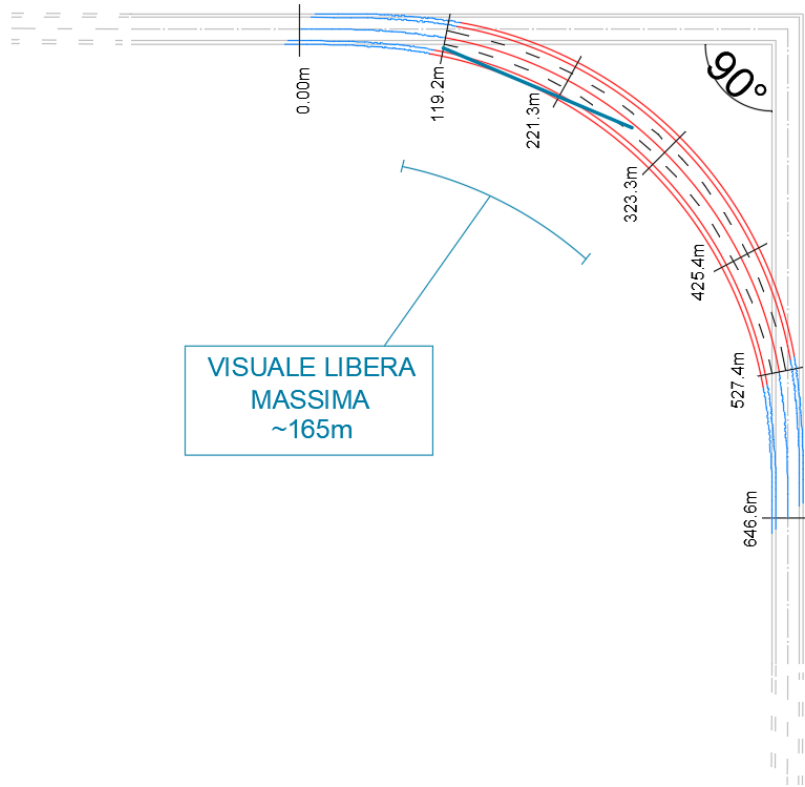


Figura D.16: $\alpha = 90^\circ$ - R=335,7m - 90Km/h

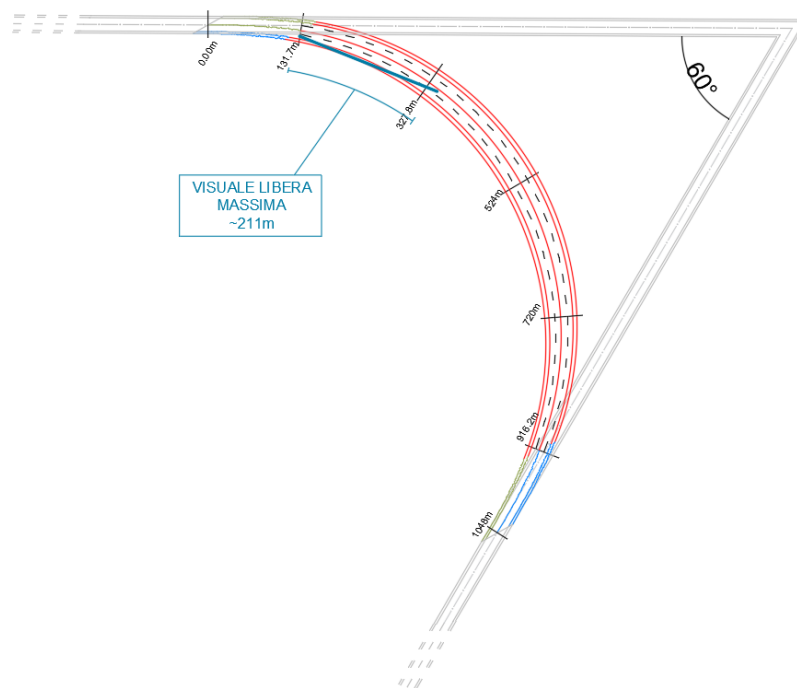


Figura D.17: $\alpha = 60^\circ$ - R=437.44m - 100Km/h

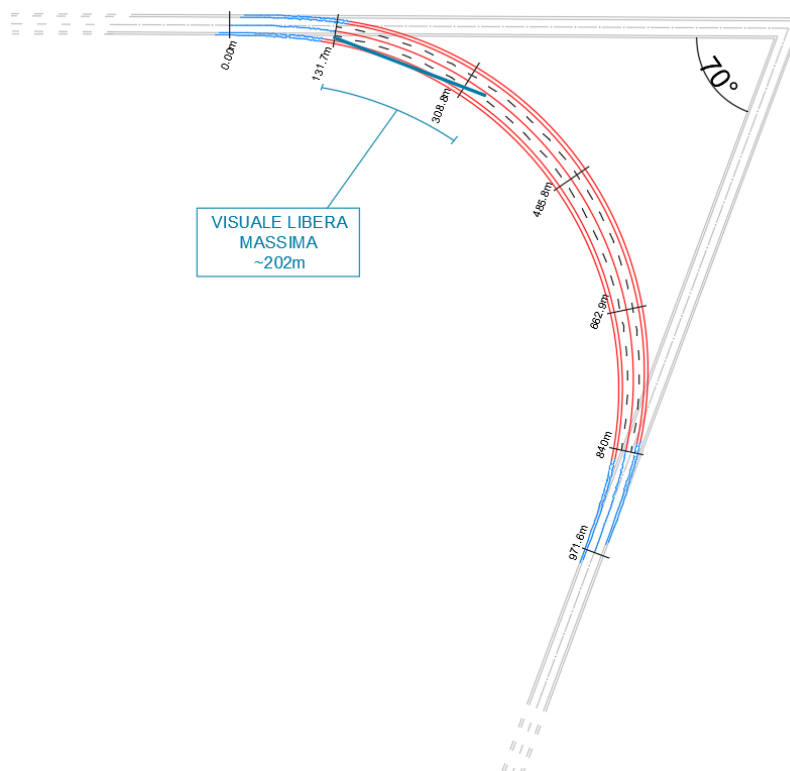


Figura D.18: $\alpha = 70^\circ$ - $R=437.44m$ - 100Km/h

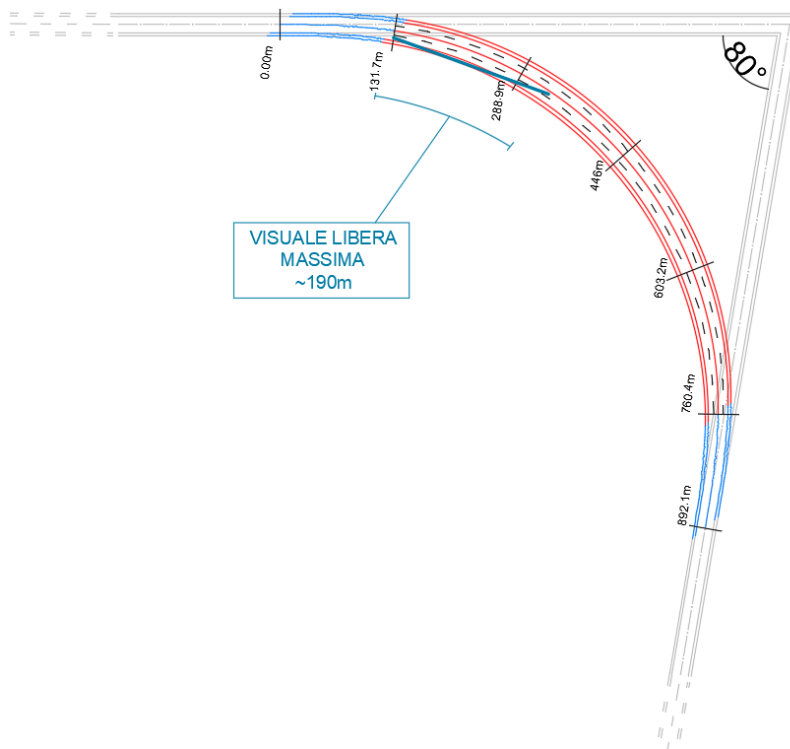


Figura D.19: $\alpha = 80^\circ$ - $R=437.44m$ - 100Km/h

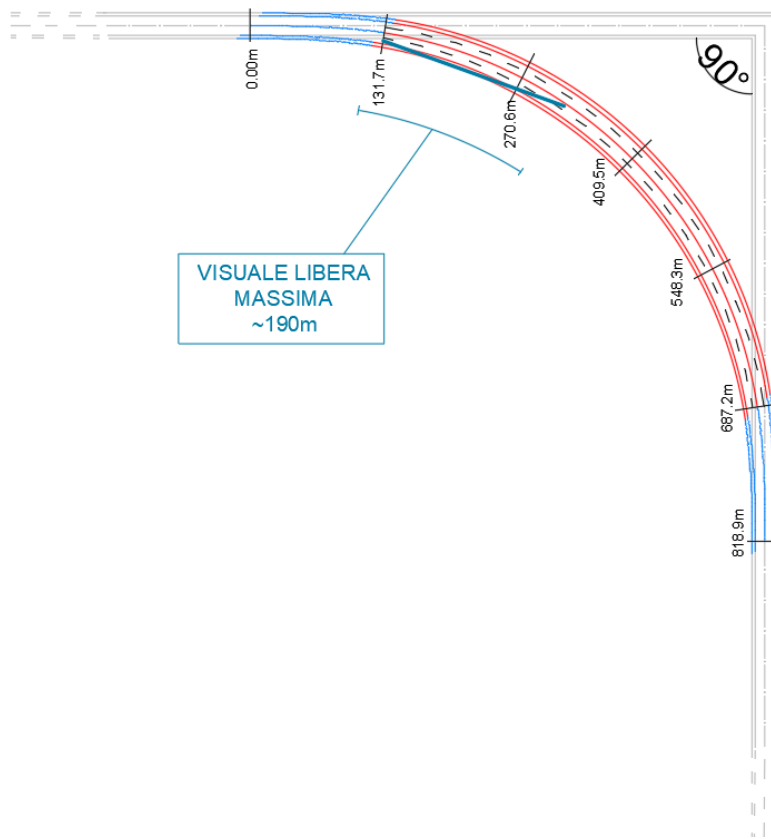


Figura D.20: $\alpha = 80^\circ$ - R=437.44m - 100Km/h

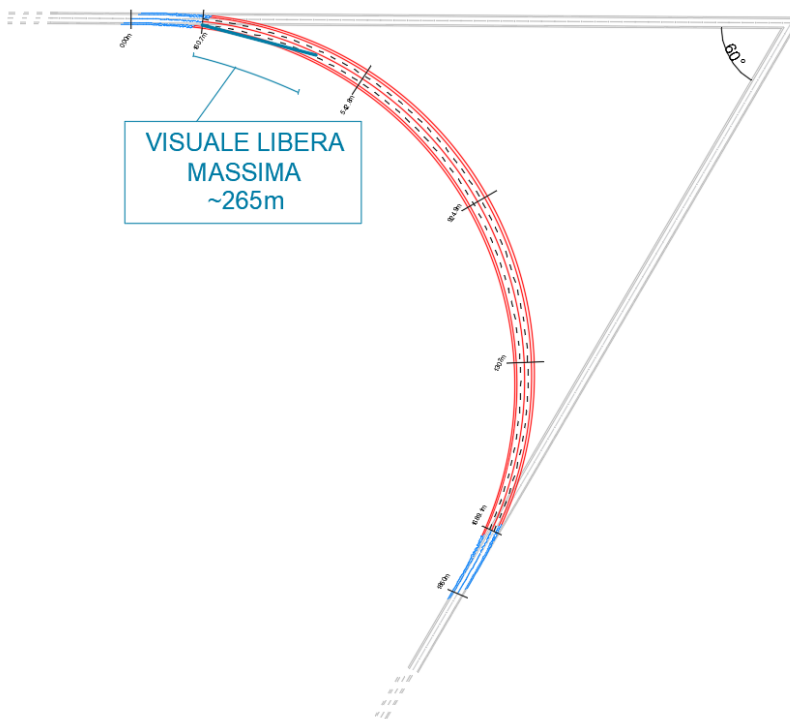
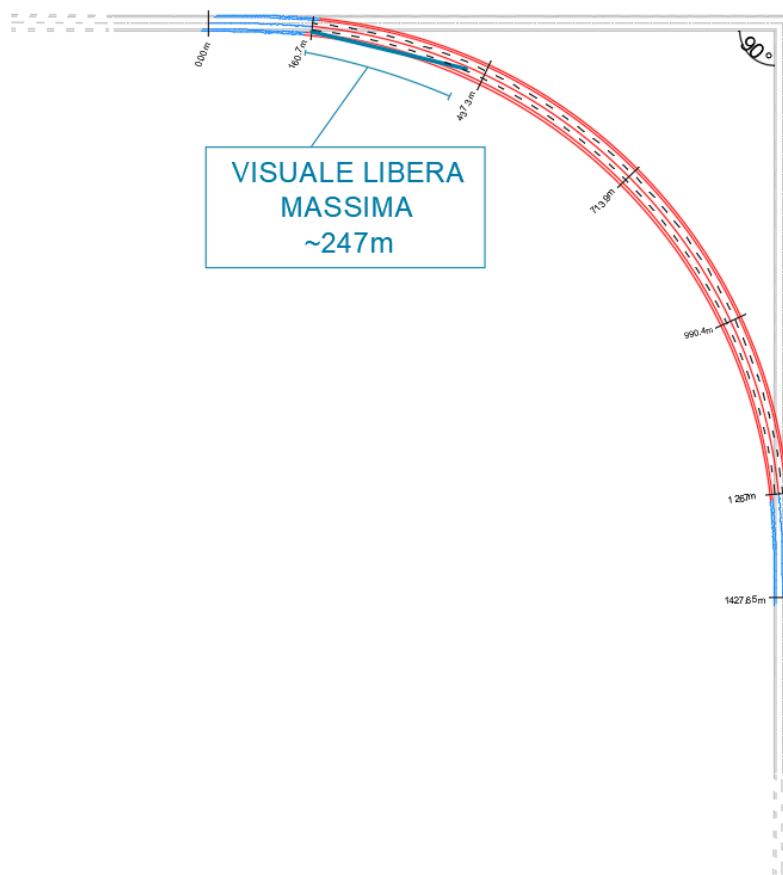


Figura D.21: $\alpha = 60^\circ$ - R=806.5m - 130Km/h



D.3 Curva destrorsa - Chiusura corsia di sorpasso - Conducente che viaggia sulla corsia di sorpasso

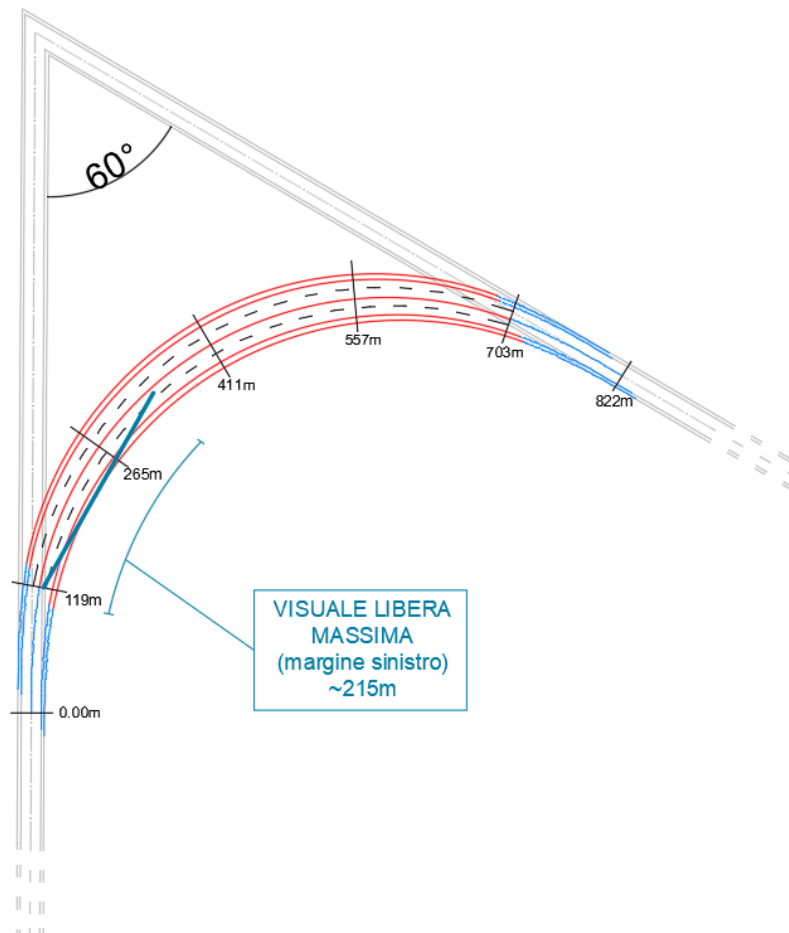


Figura D.25: $\alpha = 60^\circ$ - $R=335,7m$ - $90Km/h$

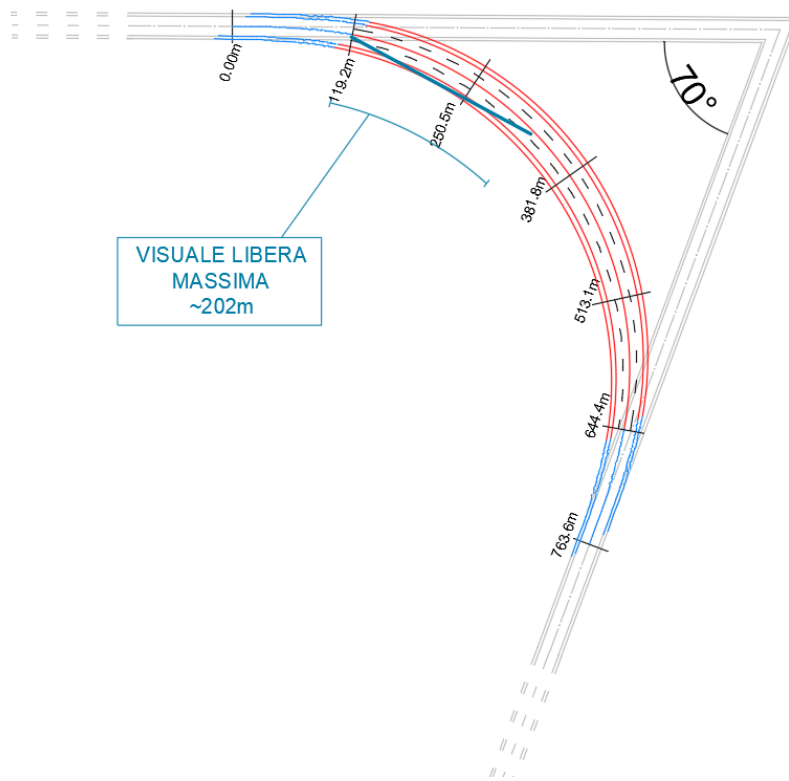


Figura D.26: $\alpha = 70^\circ$ - R=335,7m - 90Km/h

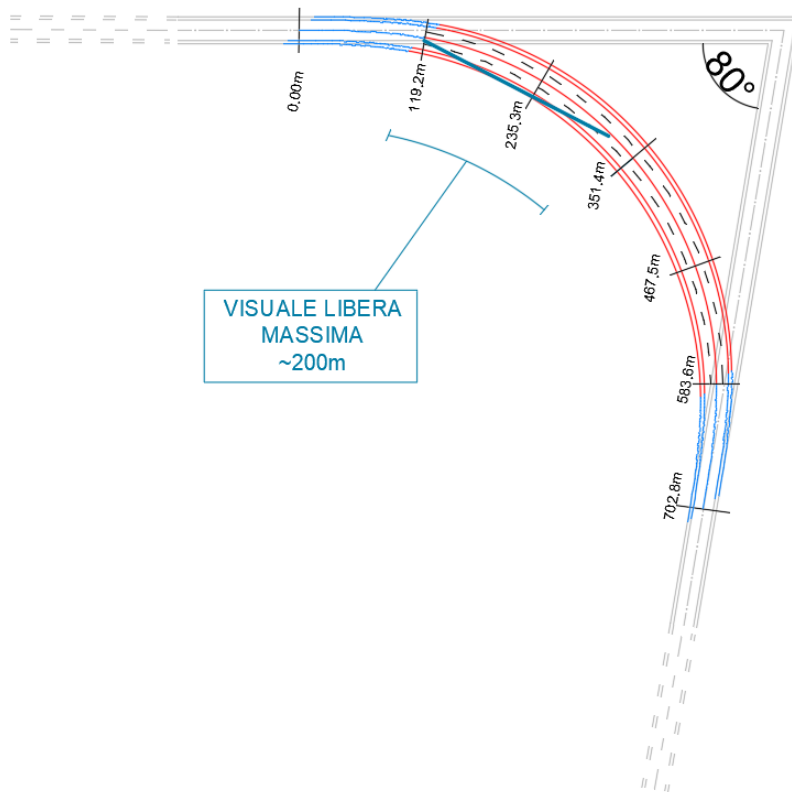


Figura D.27: $\alpha = 80^\circ$ - R=335,7m - 90Km/h

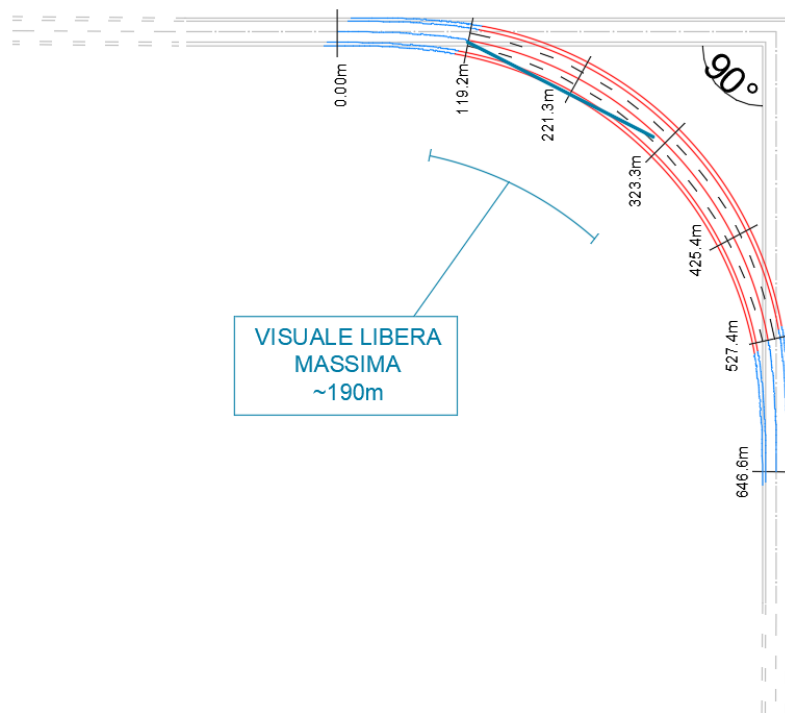


Figura D.28: $\alpha = 90^\circ$ - R=335,7m - 90Km/h

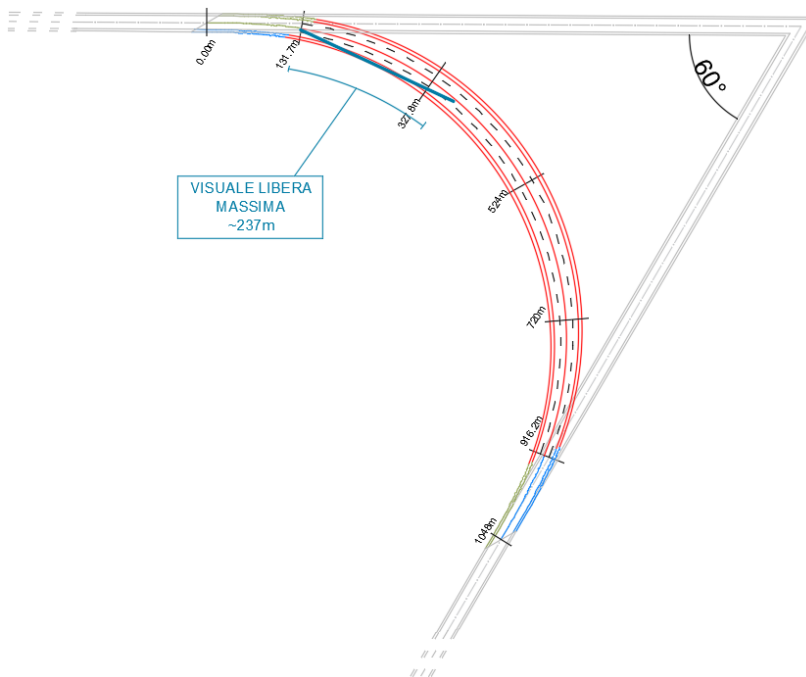


Figura D.29: $\alpha = 60^\circ$ - R=437.44m - 100Km/h

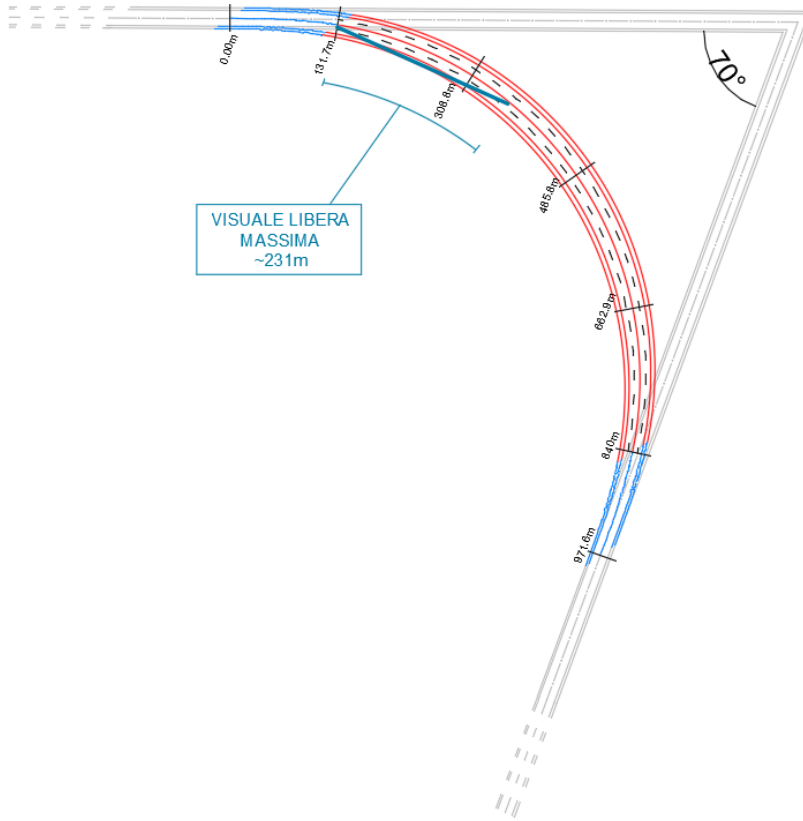


Figura D.30: $\alpha = 70^\circ$ - R=437.44m - 100Km/h

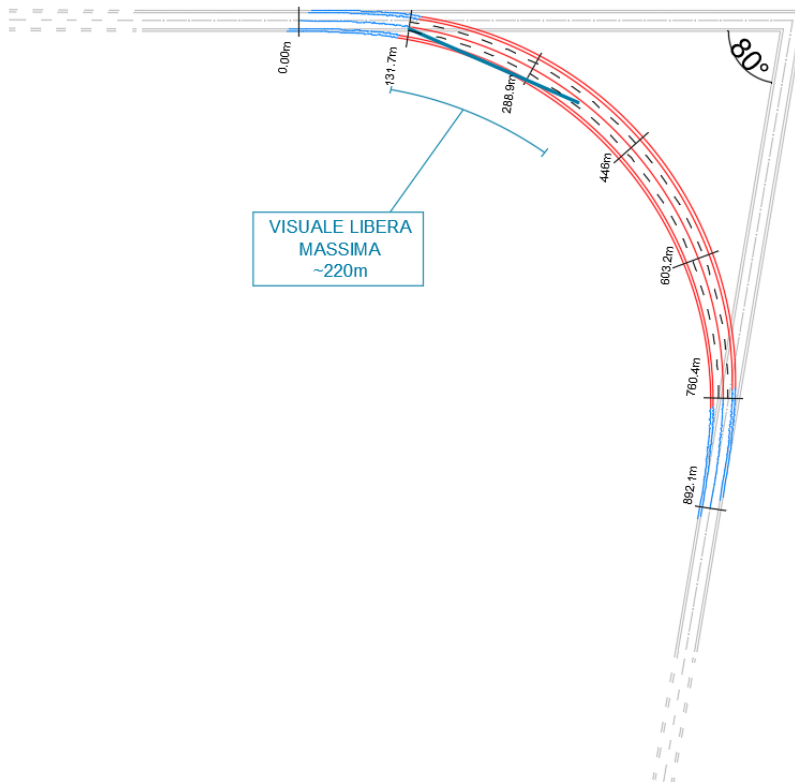


Figura D.31: $\alpha = 80^\circ$ - R=437.44m - 100Km/h

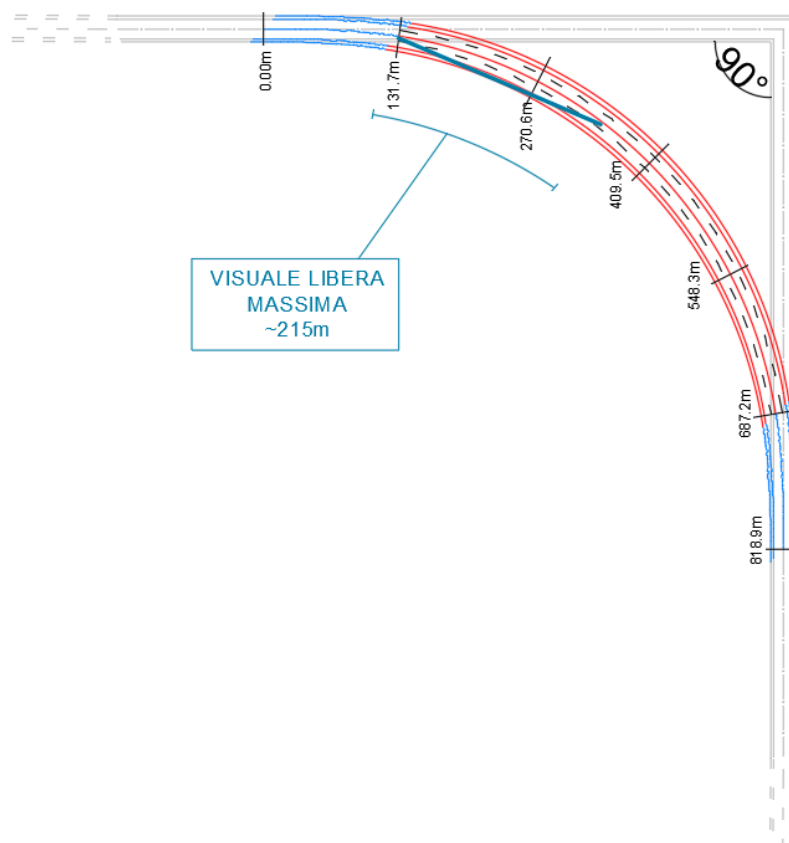


Figura D.32: $\alpha = 90^\circ$ - R=437.44m - 100Km/h

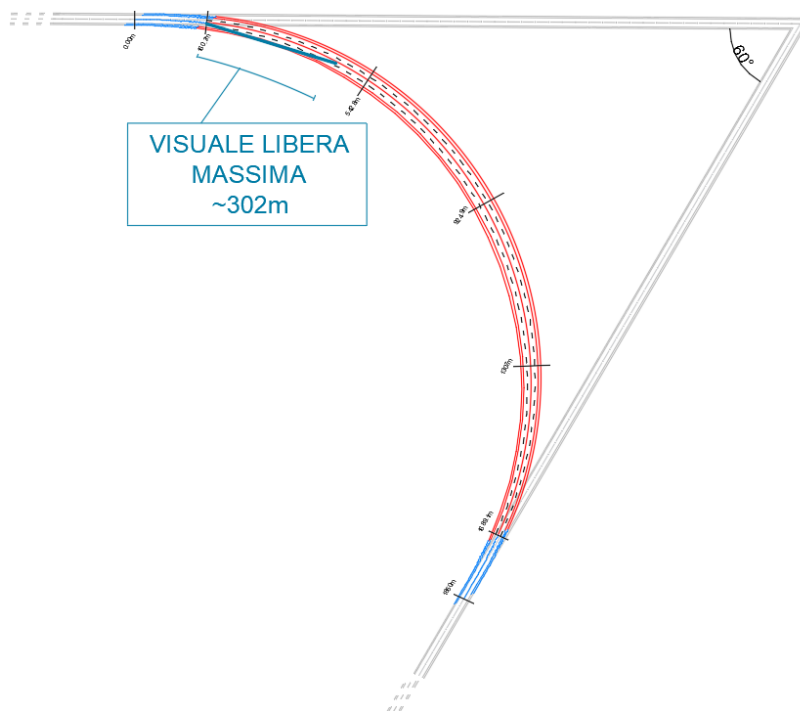


Figura D.33: $\alpha = 60^\circ$ - R=806.5m - 130Km/h

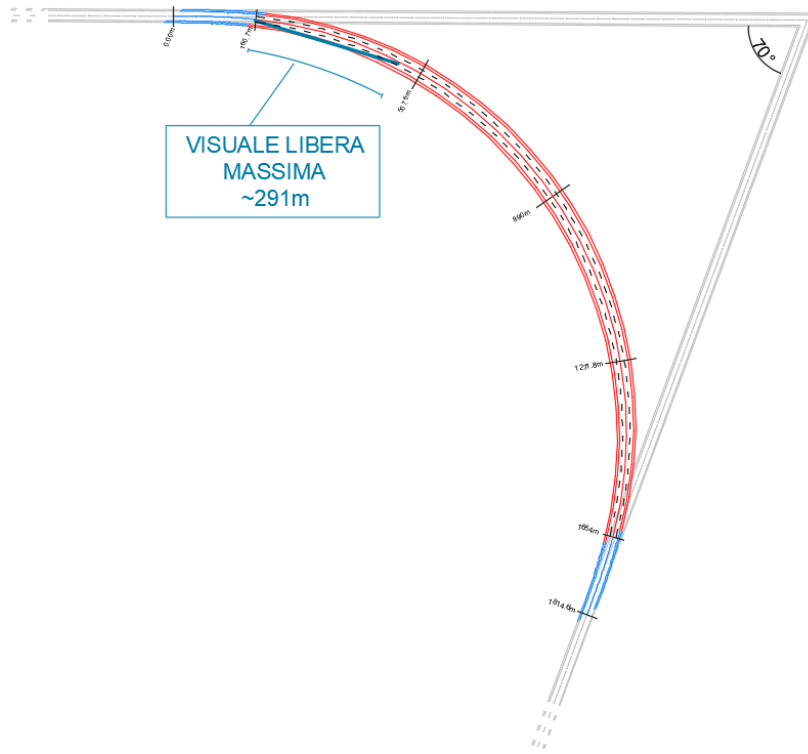


Figura D.34: $\alpha = 70^\circ$ - R=806.5m - 130Km/h

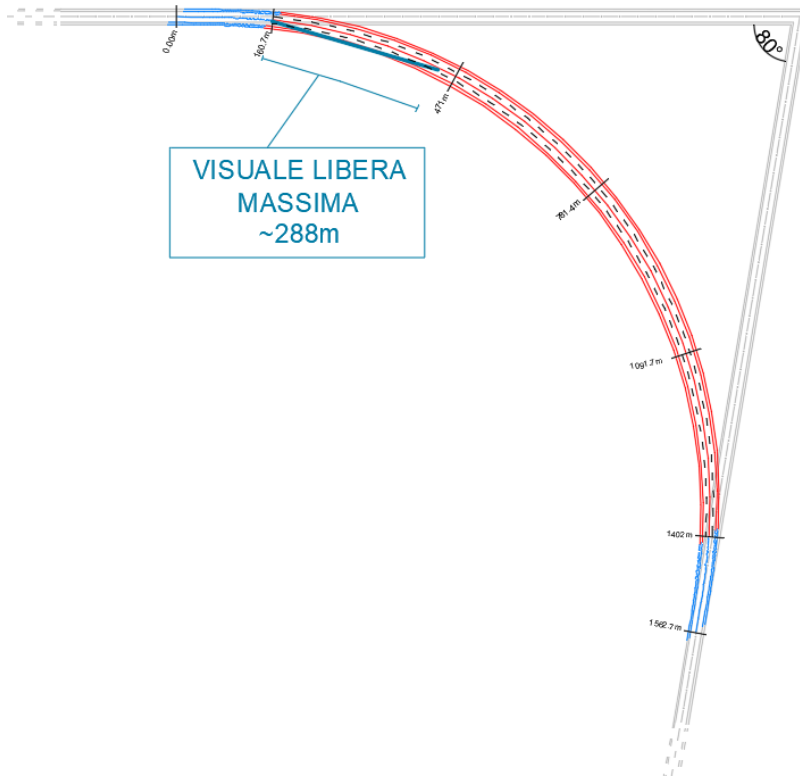


Figura D.35: $\alpha = 80^\circ$ - R=806.5m - 130Km/h

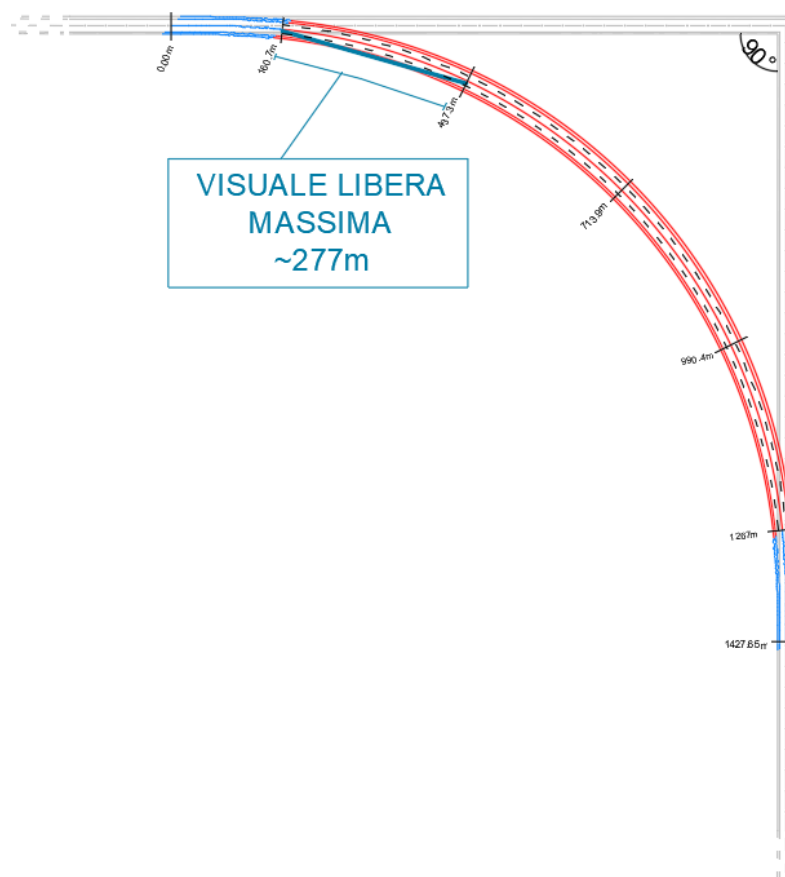


Figura D.36: $\alpha = 90^\circ$ - $R=806.5m$ - $130Km/h$

Dati integrativi all'elaborato

Tabella E.1: Tabella dei criteri per la scelta del parametro di scala A

A _{min}	Velocità [km/h]		
	90	100	130
<i>A_{min,1}</i>	170.1	210	354.9
<i>A_{min,2}</i>	126.3	147.9	138.1
<i>A_{min,3}</i>	111.9	219.2	233.5

Tabella E.2: Tabella delle Distanze di Arresto

<i>i_L</i> [%]	Velocità [km/h]		
	90	100	130
-6	146.6	173.7	265.2
-5	144.9	171.4	260.7
-4	143.3	169.2	256.4
-3	141.8	167.2	252.4
-2	140.3	165.2	248.5
-1	138.9	163.3	244.8
0	137.5	161.5	241.3
1	136.2	159.7	238.0
2	135.0	158.0	234.8
3	133.8	156.4	231.7
4	132.6	154.9	228.7
5	131.5	153.4	225.9
6	130.4	152.0	223.2

Nella tabella in alto si valutano le distanze di arresto relative alle velocità di 90, 100 e 130 Km/h al variare della pendenza longitudinale del tratto considerato. Ovviamente i valori negativi fanno riferimento a un tratto in discesa e pertanto vedono distanze di arresto maggiori, i valori di pendenza positiva sono relativi a un tratto in salita.

- [1] J. L. Graham, R. J. Paulsen, and J. C. Glennon, "Accident analyses of highway construction zones," *Transportation Research Record*, vol. 693, pp. 25–32, 1978. (Citato a pagina 1)
- [2] M. D. I. e Dei Trasporti, "Decreto 10 luglio 2002: Disciplinare tecnico relativo agli schemi segnaletici, differenziati per categoria di strada, da adottare per il segnalamento temporaneo," 2002. (Citato alle pagine 1, 3, 12, 13, 14, 15, 18, 22, 24, 25, 27, 29, 31, 38, 49, 57, 58, 60, 67, 81, 82, 90, 93, 95, 96, 100, 107, 111, 112 e 114)
- [3] T. S. A. per l'italia, "Disciplinare per l'installazione, conduzione e rimozione dei cantieri di lavoro sulla rete di autostrade per l'italia," 2023. (Citato alle pagine 1, 2, 3, 13, 14, 15, 22, 24, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 38, 41, 57, 58, 60, 67, 68, 82 e 114)
- [4] D. L. D. P. D. REPUBBLICA, "Decreto legislativo 30 aprile 1992, n. 285. nuovo codice della strada," 1992. (Citato alle pagine 3 e 12)
- [5] D. D. P. D. R. . dicembre 1992, "Regolamento di esecuzione e di attuazione del nuovo codice della strada," 1992. (Citato alle pagine 3, 11, 12 e 22)
- [6] U. E. 1436, "Materiali per segnaletica orizzontale - prestazioni della segnaletica orizzontale per gli utenti della strada," 1978. (Citato alle pagine 11 e 12)
- [7] C. E. C. for Standardization), "En 1436: Road marking materials - drop-on materials - glass beads, antiskid aggregates and mixtures of the two," 1997. (Citato a pagina 12)
- [8] Istat, "Report sugli incidenti stradali in italia nel 2022," tech. rep., 2023. (Citato a pagina 34)
- [9] ONISR, "Accidentalit  routi re 2022 en france," tech. rep., 2023. (Citato a pagina 35)
- [10] D. G. de Tr fico DGT, "Balance de las cifras de siniestralidad vial 2022," tech. rep., 2023. (Citato a pagina 37)
- [11] Cerema, "Signalisation temporaire - routes   chauss es s par es," 2021. (Citato alle pagine 39 e 41)
- [12] FGSV, "Rsa 21 - richtlinien fur die verkehrsrechtliche sicherung von arbeitsstellen an strasen," 2021. (Citato alle pagine 41 e 46)

- [13] M. de fomento Direccìon general de carretas, "Manual de ejemplos de senalizaciòn de obras fijas," 1997. (Citato alle pagine 43 e 46)
- [14] M. D. I. e Dei Trasporti, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade," 2001. (Citato alle pagine 61, 62, 76, 81 e 108)
- [15] F. A. Santagata, *Strade - Teoria e tecnica delle costruzioni stradali*. 2016. (Citato alle pagine 61, 72, 75 e 78)
- [16] A. S. V. V. Giulio Dondi, Claudio Lantieri, *Costruzioni stradali - Aspetti progettuali e costruttivi*. 2013. (Citato a pagina 65)
- [17] R. R. U. degli studi di Trieste, "Lezione 05: Distanze di visibilitÃ ,," 2017. (Citato a pagina 72)
- [18] E. National Academies of Sciences and M. 2015., "Work zone speed management. washington, dc: The national academies press.," *National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine*, 2015. (Citato a pagina 82)
- [19] P. J. Carlson, M. D. Fontaine, and H. G. Hawkins Jr, "Evaluation of traffic control devices for rural high-speed maintenance work zones," tech. rep., Texas Transportation Institute, 2000. (Citato a pagina 82)
- [20] P. T. McCoy and G. Pesti, "Effectiveness of condition-responsive advisory speed messages in rural freeway work zones," *Transportation research record*, vol. 1794, 2002. (Citato a pagina 82)
- [21] M. A. Brewer, G. Pesti, and W. Schneider IV, "Improving compliance with work zone speed limits: Effectiveness of selected devices," *Transportation Research Record*, vol. 1948, no. 1, pp. 67-76, 2006. (Citato a pagina 82)

Siti Web consultati

- PSN Impianti Srls - Barriere antirumore - <https://www.barrierestradali.com/barriere-antirumore>
- La visione e percezione delle immagini - <https://www.fontanesi.ch/vedere/visione/>
- Segnale di progressiva chilometrica - https://it.wikipedia.org/wiki/Segnale_di_progressiva_chilometrica
- Pannelli a messaggio variabile a carrello - <https://www.sisas.it/prodotto/rimorchio-con-pannello-a-messaggio-variabile/>
- Pannelli a messaggio variabile temporanei - <https://www.sfhera.com/it/prodotti/signaletica-luminosa-per-cantieri/>