



Politecnico di Torino

Corso di Laurea

A.A. 2021/2022

Sessione di Laurea Ottobre 2022

SISTEMI DI SICUREZZA IN AMBITO AUTOSTRADALE

Proposte migliorative in presenza di cuspidi

Relatori:

Prof. Alberto Lauria

Prof. Giuseppe Chiappinelli

Candidati:

Giorgia Rizzo

INDICE

ABSTRACT.....	6
INTRODUZIONE.....	9
CAPITOLO 1. INCIDENTALITA' STRADALE.....	11
1.1 CAUSE PRINCIPALI DI INCIDENTI STRADALI.....	15
1.2 RIDUZIONE TASSO DI INCIDENTI MORTALI PER EFFETTO DELLE BARRIERE DI SICUREZZA.....	16
CAPITOLO 2. DISPOSITIVI DI RITENUTA STRADALE.....	19
2.1 NORMATIVA.....	20
2.2 CLASSIFICAZIONE IN BASE ALL'INSTALLAZIONE.....	22
2.3 CLASSIFICAZIONE IN BASE AI MATERIALI UTILIZZATI	24
2.3.1 BARRIERE IN ACCIAIO	24
2.3.2 BARRIERE IN CALCESTRUZZO.....	27
2.3.3 BARRIERE MISTE ACCIAIO-CALCESTRUZZO.....	30
2.3.4 BARRIERE MISTE ACCIAIO-LEGNO	31
2.4 INTERAZIONE TRA VEICOLO E LE DIVERSE BARRIERE DI SICUREZZA.....	31
2.4.1 BARRIERE LONGITUDINALI	31
2.4.2 BARRIERE SALVAMOTOCICLISTI	33
2.4.3 ATTENUATORI D'URTO	35
2.4.4 TERMINALI SPECIALI	37
2.4.5 TRANSIZIONI	39
2.4.6 CHIUSURE VARCHI	42
2.5 PROVE DINAMICHE E OMOLOGAZIONE DELLE BARRIERE LONGITUDINALI	44
2.5.1 PREMESSA.....	44
2.5.2 PROVE D'URTO	46
2.5.3 DEFLESSIONE DELLE BARRIERE.....	54
2.6 PROGETTO DELLE BARRIERE LONGITUDINALI SU STRADA.....	58
2.6.1 ELABORATI PROGETTUALI	63
2.6.2 PROCEDIMENTO PER LA SCELTA DELLE BARRIERE LONGITUDINALI.....	65
2.7 MANUTENZIONE.....	66
2.8 BARRIERE STRADALI "INTELLIGENTI".....	68
CAPITOLO 3. SEGNALETICA STRADALE PER CANTIERI	73
3.1 NORMATIVA.....	73
3.2 CANTIERE STRADALE	74
3.3 SEGNALETICA STRADALE DI SICUREZZA	75

3.3.1	CLASSIFICAZIONE DEI SEGNALI	76
3.3.2	DIMENSIONI.....	80
3.3.3	CRITERIO DI LIMITAZIONE DELLA VELOCITA'	81
3.4	POSIZIONAMENTO DEI SEGNALI	82
3.5	SCHEMI SEGNALETICI PER CANTIERI AUTOSTRADALI	83
3.5.1	SCHEMI SEGNALETICI PER STRADE A,B,D	84
3.6	SEGNALETICA ORIZZONTALE.....	89
3.6.1	STRISCE LONGITUDINALI	90
3.6.2	STRISCE TRASVERSALI.....	92
3.6.3	ISOLE DI TRAFFICO	93
3.7	SEGNALI ORIZZONTALI	93
3.8	IMPIEGO DEI DISPOSITIVI PER IL CONTROLLO DELLA VELOCITA'	94
3.9	CARATTERISTICHE SUPERFICIALI PAVIMENTAZIONE STRADALE	97
CAPITOLO 4. ANALISI DI UN SINISTRO STRADALE		99
4.1	DESCRIZIONE DELL'EVENTO	99
4.2	DINAMICA DEL SINISTRO	105
CAPITOLO 5. ANALISI E TRATTAZIONE DELLE SOLUZIONI.....		109
5.1	INTRODUZIONE DI ATTENUATORI D'URTO	110
5.2	SISTEMI DI RINFORZO IN TERRENI POCO CONSISTENTI.....	114
5.3	SEGNALETICA PER DESCRIZIONE DEL BIVIO	116
5.4	SEGNALETICA VERTICALE	117
5.5	SEGNALETICA ORIZZONTALE.....	122
5.6	POSIZIONAMENTO DI SEGNALI COMPLEMENTARI.....	127
5.7	PAVIMENTAZIONE	130
5.8	RALLENTATORI DI VELOCITA'	131
5.9	INNOVAZIONE, USO DI BARRIERE INTELLIGENTI.....	133
5.10	APPLICAZIONE DI GUARDLED	134
5.11	SISTEMI RADIO PER COMUNICAZIONE PERICOLI.....	136
CAPITOLO 6. APPLICAZIONE INTERVENTI.....		139
CAPITOLO 7. CONCLUSIONI.....		145
INDICE DELLE FIGURE		147
INDICE DELLE TABELLE.....		150
INDICE DELLE EQUAZIONI		151
BIBLIOGRAFIA		152

ABSTRACT

Scopo di questo lavoro di tesi è quello di ripercorrere l'evoluzione nel tempo del quadro normativo, fino ai nostri giorni, che vede come elementi principali i dispositivi di sicurezza stradale. Si procederà in una fase successiva con un'analisi accurata della classificazione delle barriere in relazione alle loro funzioni e caratteristiche. Segue poi un approfondimento di come questi sistemi di sicurezza siano riusciti col tempo a portare a una diminuzione del tasso di mortalità e, parallelamente, di incidentalità (in strade di diversa categoria) e come queste si stiano evolvendo in modo da garantire un sempre più celere intervento di soccorsi e forze dell'ordine. Protagoniste di questo sviluppo sono le nuove barriere "intelligenti" che, essendo dotate di dispositivi bluetooth e luci a *led*, sono in grado di ottimizzare la circolazione attraverso sistemi di monitoraggio del traffico, indicare percorsi alternativi in caso d'incidenti o turbative alla viabilità ai veicoli prossimi al luogo interessato da eventuale incidente (così da escludere la possibilità di incidenti a catena a causa di una mancanza di informazioni lungo il tratto colpito) e, infine, gestire gli accessi ai parcheggi e molto altro ancora.

La ricerca compiuta fino a questo punto viene affiancata da un ulteriore approfondimento sufficientemente accurato sulla segnaletica stradale per cantieri autostradali, il quale condurrà ad una visione completa del problema e delle soluzioni per affrontare il caso studio.

Particolare attenzione, in questa fase, viene rivolta agli schemi segnaletici definiti da normativa che permettono di individuare una linea guida per la progettazione della segnaletica stessa, indicando sia quella orizzontale che verticale in tutte le situazioni riscontrabili nei casi reali.

Questa trattazione condurrà ad una successiva ed ultima fase riguardante il caso studio trattato relativo ad un incidente stradale avvenuto sull'autostrada A8 che vede come protagonista un furgone che, per una serie di fatalità che verranno descritte nel suddetto documento, a seguito di un urto violento su una cuspide portò alla morte di uno dei tre viaggiatori.

Dopo aver posto le basi per poter comprendere la questione della sicurezza stradale si giungerà ad una serie di soluzioni ed interventi plausibili atti ad evitare futuri incidenti mortali e non solo, su svincoli autostradali o, più in generale, su punti di particolare criticità lungo il tratto autostradale. Verranno poste numerose alternative da poter mettere in atto, sia andando a considerare sistemi già diffusi e consolidati nel tempo; sia andando a proporre soluzioni innovative in via di sviluppo che, con la loro diffusione potrebbero portare ad un aumento della sicurezza autostradale nel nostro Paese.

INTRODUZIONE

Nel seguente documento viene effettuato uno studio accurato sia sui sistemi di ritenuta stradali, che sulla segnaletica autostradale comprendendo sia quella di tipo orizzontale che verticale, il tutto viene definito con lo scopo di arrivare ad una conoscenza adeguata atta a risolvere il caso studio la cui trattazione verrà descritta in seguito.

Con l'evento oggetto di analisi si vuole portare alla luce una criticità presente in determinate aree del tracciato autostradale per poi proporre soluzioni idonee e adeguate per aumentare i livelli di sicurezza durante il transito lungo le vie autostradali.

Risulta necessario ripercorrere l'evoluzione nel tempo del quadro normativo che vede come elementi principali i dispositivi di sicurezza stradale fino a giungere ai giorni nostri così da permettere una comprensione e studio completo di come vadano progettate e posizionate le barriere di sicurezza in relazione alle caratteristiche del suolo, della strada nella quale vengono posizionate e delle caratteristiche del flusso di traffico che interessa la zona. In relazione alle peculiarità del sistema di ritenuta verrà illustrata in seguito una classificazione su più punti e scale di dettaglio.

Lo studio e la progettazione di tali sistemi di ritenuta vede fondamento e acquista la sua forza dagli studi statistici che sono stati effettuati nel corso degli anni i quali dimostrano in maniera inequivocabile come la loro installazione abbia portato ad effetti benefici in termini di diminuzione del tasso di incidentalità e mortalità in strade di diversa categoria.

Verranno spiegati i principi di funzionalità e omologazione dei diversi sistemi di ritenuta i quali sono oggetto di classificazione in relazione alle diverse funzioni e resistenze. Si ha infatti che per diversi dispositivi verranno attribuite diverse prove d'urto per l'ottenimento della marcatura CE, marcatura necessaria attualmente per la messa in circolazione dei dispositivi.

Per uno stesso dispositivo vi sarà una classificazione ulteriore in relazione a diversi indici prestazionali che verranno definiti successivamente in quanto utili per uno dei possibili interventi migliorativi per caso oggetto di analisi.

Seguirà poi una trattazione su come questi stiano evolvendo in modo da garantire un sempre più celere intervento da parte delle autorità grazie allo sviluppo di nuove barriere "intelligenti" le quali sono in grado di ottimizzare la circolazione attraverso sistemi di monitoraggio del traffico, l'indicare percorsi alternativi in caso d'incidenti o turbative alla viabilità ai veicoli prossimi al luogo interessato da eventuale incidente (così da escludere la possibilità di incidenti a catena a causa di una mancanza di informazioni lungo il tratto colpito) e, in fine, la gestione degli accessi ai parcheggi e molto altro ancora.

Per poter risolvere la problematica legata al caso studio in esame, la cui trattazione verrà affrontata nel seguito, non è sufficiente disporre delle sole conoscenze legate alle barriere di sicurezza ma, è necessario, implementare all'interno delle possibili alternative progettuali, uno studio sulla segnaletica stradale volgendo un occhio di riguardo a quella inerenti i cantieri autostradali temporanei.

Particolare attenzione, in questa seconda fase, viene rivolta agli schemi segnaletici definiti da normativa che permettono di individuare una linea guida per la progettazione della segnaletica stessa, indicando sia quella orizzontale che quella verticale, in tutte le situazioni riscontrabili nei casi reali.

Lo studio sulla segnaletica, analizzata e tratta in maniera generale, risulterebbe eccessivamente ampio con il rischio di arricchire il saggio con materiale non utile ai fini del problema finale; è per questo che l'approfondimento volgerà in maniera più dettagliata alla segnaletica adoperata in zone di rischio quali bivi e svincoli essendo questa la zona di interesse.

Dopo l'aver appreso tutte le nozioni necessarie si procederà all'introduzione del caso oggetto di esame relativo all'“Analisi di un sinistro stradale con coinvolgimento dei sistemi di ritenuta con studio relativo alle cause e agli interventi “.

Tale incidente stradale, avvenuto sull'autostrada A/8 direzione Milano-Varese, vede come protagonista un furgone che, per una serie di fatalità che verranno descritte nel suddetto documento, a seguito di un urto violento su una cuspide portò alla morte di uno dei tre viaggiatori.

Il modo in cui il furgone giunse al luogo dell'impatto con la cuspide, ovvero ribaltato su una fiancata per effetto del rotolamento antecedente alla collisione, porta a considerare che, non esistendo ancora un modello adeguato per tali urti in quanto le prove per l'ottenimento della marcatura CE avvengono tutti con prove di resistenza per urti frontali, fa sì che non esistano dei dispositivi in grado di portare ad un rischio per i conducenti nullo in modo tale da scongiurare almeno le conseguenze più gravose. Non potendo annullare i rischi per condizioni particolari quali quelle in prossimità di una cuspide è però possibile mettere in atto una serie di misure cautelative per limitarne i rischi.

Si andrà quindi a non annullare l'esposizione al pericolo alla fonte, data l'impossibilità dell'eliminare dal tracciato stradale tutti questi elementi di pericolo, ma a minimizzarlo per mezzo di misure appropriate.

In questo documento verranno presentate diverse soluzioni, estendibili anche a condizioni aventi delle analogie con quella trattata, che vedono come interventi plausibili sia dei sistemi già diffusi e consolidati nel tempo, sia soluzioni innovative in via di sviluppo che, con la loro diffusione potrebbero portare ad un aumento della sicurezza autostradale nella viabilità del nostro Paese.

CAPITOLO 1. INCIDENTALITA' STRADALE

Secondo la definizione data dall'Organizzazione mondiale della sanità, un incidente stradale è uno scontro che avviene su una strada pubblica che coinvolge almeno un veicolo e che può avere conseguenze sulla salute di chi vi è coinvolto. Gli incidenti stradali rappresentano un problema di assoluta priorità per la sanità pubblica per l'alto numero di morti e di invalidità permanenti e temporanee. Agli enormi costi sociali e umani, si aggiungono quindi anche elevati costi economici, che rendono la questione della sicurezza stradale un argomento di enorme importanza per i dipartimenti di Prevenzione e i sistemi sanitari di tutti i Paesi.

Secondo le stime svolte dall'Istat nell'anno 2021 [1] si registra, rispetto allo stesso periodo del 2020, un aumento del numero di incidenti stradali con lesioni a persone (65.116, pari a +31,3%), dei feriti (85.647, +28,1%) e delle vittime entro il trentesimo giorno (1.239, +22,3%).¹ Le percorrenze medie, rilevate sulla rete autostradale nel periodo gennaio-giugno 2021, mostrano una forte diminuzione nei primi due mesi dell'anno, rispetto allo stesso periodo dell'anno precedente e un progressivo aumento a partire dal mese di marzo, tuttavia ancora sotto il livello di marzo 2019 (-34%).

Risulta comunque doveroso considerare questi valori non del tutto affidabili a causa della particolare condizione sociale dettata da numerosi provvedimenti normativi di apertura e chiusura delle attività per il contenimento della diffusione del Covid-19. Basti notare come i periodi di diminuzione di incidentalità coincidano proprio con i momenti di chiusura della maggior parte delle attività sociali.

Per questo motivo si è scelto di considerare i dati Istat relativi all'anno 2019 [2], i quali riportano i seguenti valori²:

- Nel 2019 sono stati 172.183 gli incidenti stradali con lesioni a persone in Italia, in lieve calo rispetto al 2018 (-0,2%), con 3.173 vittime (morti entro 30 giorni dall'evento) e 241.384 feriti (-0,6%). Il numero dei morti diminuisce rispetto al 2018 (-161, pari a -4,8%), per il secondo anno consecutivo dopo l'aumento registrato nel 2017, e si attesta sul livello minimo mai raggiunto nell'ultima decade.
- Tra le vittime risultano in aumento i ciclisti (253; +15,5%) e i motociclisti (698; +1,6%); in diminuzione le altre categorie di utenti: pedoni (534; -12,7%), ciclomotoristi (88; -18,5%), occupanti di veicoli per il trasporto merci (137; -27,5%) e automobilisti (1.411; -0,8%). Il marcato aumento delle vittime tra i ciclisti, soprattutto su strade statali nell'abitato e fuori città, è associato anche a una crescita degli incidenti stradali che coinvolgono biciclette (+3,3%), a una sempre maggiore diffusione dell'uso del mezzo a due ruote per

¹ Fonte: <https://www.aci.it/laci/studi-e-ricerche/dati-e-statistiche/incidentalita.html>

² Fonte: <https://www.aci.it/laci/studi-e-ricerche/dati-e-statistiche/incidentalita/la-statistica-istat-aci/2019.html>

gli spostamenti, pari al 25% nel 2019, e all'aumento delle vendite di biciclette, nel 2019 il 7% in più rispetto al 2018.

- Diminuiscono, nel 2019, le vittime su tutti gli ambiti stradali. Forte il calo registrato sulle autostrade (comprensive di tangenziali e raccordi autostradali), pari al 6,1% (310 vittime). Sulle strade urbane la diminuzione rispetto al 2018 è pari al 5,0% con 1.331 morti; una flessione più contenuta si registra, invece, sulle strade extraurbane (-4,4%; 1.532 vittime).

Nella Fig. 1.1 viene riportato l'andamento degli incidenti stradali, stimato dall'Istat, tra gli anni 2001 fino al 2019.

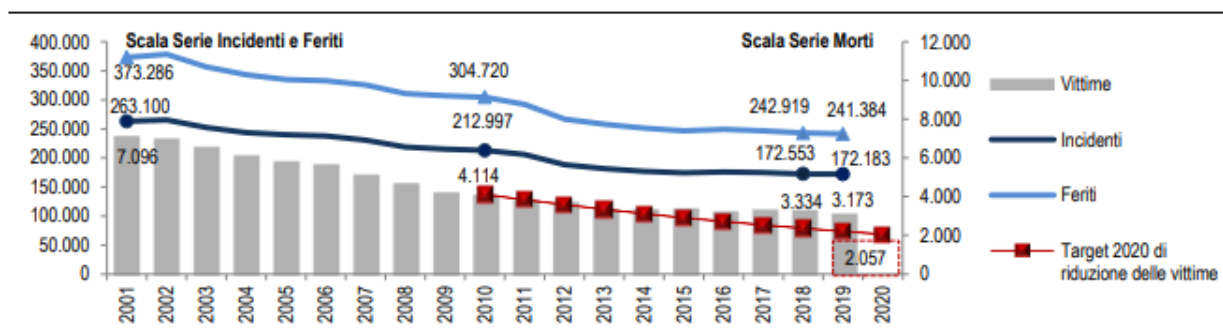


Figura 1.1: Incidenti stradali con lesioni a persone, morti e feriti. Anni 2001-2019, valori assoluti

Ciò che ha reso possibile l'avvio verso una sicurezza stradale sempre più accentuata è in gran parte da attribuirsi alle scelte delle Commissione Europea prese a partire dai primi anni 2000 con l'obiettivo principe di dimezzare nei periodi a seguire il numero di vittime stradali Europee. Le iniziative proposte vanno da una più rigorosa applicazione delle norme del Codice della Strada, a regole più esigenti in materia di sicurezza dei veicoli e delle infrastrutture. In particolare i sette principi cardine di tutti i procedimenti presi in materia di sicurezza stradale sono:

- miglioramento dell'educazione stradale e della preparazione degli utenti della strada;
- rafforzamento dell'applicazione della normativa stradale;
- miglioramento della sicurezza delle infrastrutture stradali;
- miglioramento della sicurezza dei veicoli;
- promozione dell'uso delle moderne tecnologie per migliorare la sicurezza stradale;
- miglioramento dei servizi di emergenza e assistenza post-incidente;
- protezione degli utenti vulnerabili della strada.

Occorre definire metodologie adeguate atte a valutare l'impatto sulla sicurezza stradale delle scelte di progetto, come previsto dalla Direttiva 2008/96/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 novembre 2008, sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali. La stima degli effetti degli interventi sulla sicurezza è uno dei punti fondamentali per effettuare scelte basate su analisi benefici/costi. Solo una corretta stima degli effetti interventi può consentire procedure di ottimizzazione per la migliore allocazione delle risorse per la messa in sicurezza delle infrastrutture e per effettuare scelte razionali in fase di progettazione, le quali avverranno anche

sulla base di dati statistici che mostrino quali siano i soggetti maggiormente a rischio e da tutelare in caso di impatto. Nell'istogramma seguente (Fig.1.2) è indicato in percentuale con quali mezzi si abbia un maggiore rischio in relazione al numero di incidenti attribuitigli. Esso, può essere più o meno di dettaglio in relazione all'area di interesse che ricopre e sarà quindi differente al variare delle zone. Da qui si partirà per la scelta del tipo di interventi da eseguire e verrà poi effettuata un'analisi dei costi/benefici che porterà all'attuazione degli interventi definitivi.

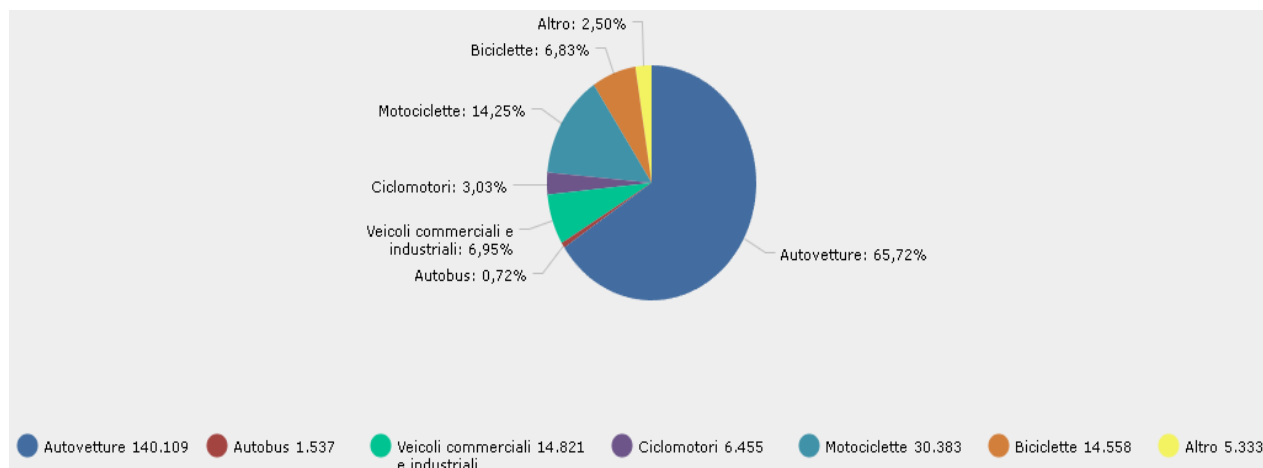


Figura 1.2: Veicoli coinvolti per categoria

Si stima infine che il costo sociale degli incidenti stradali 2019, secondo i parametri indicati dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, a valori costanti 2010, risulta pari a 16,9 miliardi di euro, l'1% del Pil nazionale, dai 21,4 miliardi del 2010 (-21% in 10 anni). Tra il 2011 e il 2019 sono state risparmiate 6.035 vite umane mentre in termini economici si valutano oltre 9 miliardi di euro risparmiati per le sole vittime e 31,2 miliardi in totale.³ E' visibile in Fig.1.3 una rappresentazione grafica dei dati sopra riportati evidenziando il numero di vittime evitate e quelle che si sarebbero potute evitare insieme ad un'analisi dei costi derivanti.

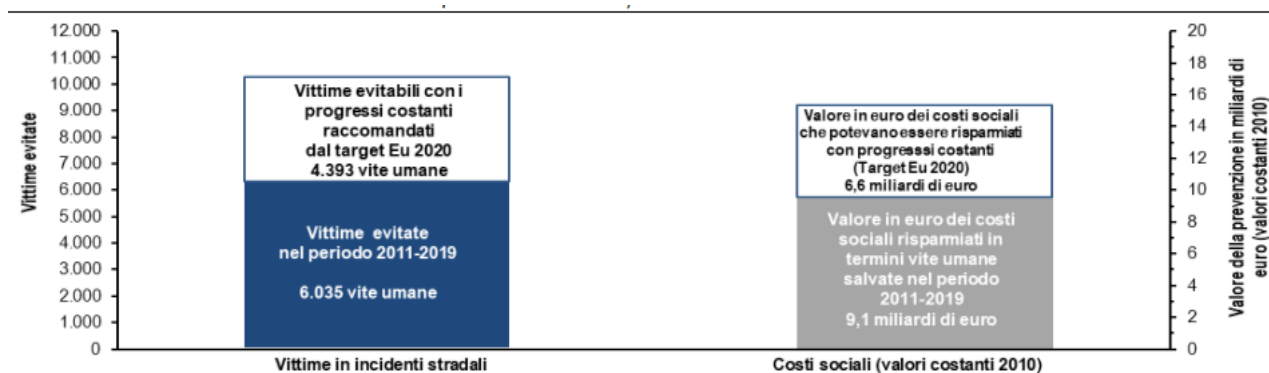


Figura 1.3: vittime evitate o evitabili in incidenti stradali nel periodo 2011-2019 e costi sociali derivati (valori assoluti e costi sociali in miliardi di euro a prezzi costanti 2010)

³ Dati prelevati dal sito ACI relativi all'anno 2019

Sfortunatamente la scelta degli interventi di miglioramento della sicurezza e quindi l'allocazione delle risorse viene effettuata attualmente sulla base di criteri soggettivi a causa delle difficoltà relative alla stima della sicurezza dell'infrastruttura, alla scarsa disponibilità e qualità dei dati di incidenti stradali, dovuta alle procedure di rilievo e di archiviazione attualmente adottate. In particolare l'Italia risulta ancora molto lontana dai livelli di qualità delle banche dati presenti negli altri Paesi dell'UE, la quale è gestita dall'ISTAT e allo stato attuale non è sufficiente per implementare un sistema di gestione della sicurezza congruente con i requisiti della Direttiva Europea. Il modulo ISTAT non è conforme con le prescrizioni dei paesi più avanzati nonostante abbia subito continui aggiornamenti nel tempo. Esso è costituito da una parte generale contenente le informazioni relative alla compilazione dei dati e otto sezioni relative alla localizzazione dell'incidente, al luogo, alla natura dell'incidente, al tipo di veicoli coinvolti, alle circostanze presunte dell'incidente, alle conseguenze dell'incidente sulle persone e alle conseguenze dell'incidente sui veicoli. Nonostante vengano considerate tutte queste variabili si ha che il personale autorizzato alla rilevazioni appartiene ad organi diversi quali: Polizia Stradale, dalla Polizia Municipale, dalla Polizia, dai Carabinieri e dagli Ausiliari del traffico i quali hanno al loro servizio competenze e moduli differenti. In aggiunta l'invio ad Istat dei dati avviene a cadenza mensile per le Polizie Locali e Carabinieri, mentre è a cadenza trimestrale per la Polizia Stradale e per le Regioni.

Ciò determina una grande difformità dei dati e molto spesso questi, dopo essere stati raccolti dagli organi di rilevazione, risultano poco leggibili e presentano incongruenze, dati mancanti, errori sulla localizzazione a causa di un diffuso disuso del dispositivo GPS ormai noto invece a molti altri stati membri dell'Unione Europea. Inoltre, la banca dati ISTAT non riporta gli incidenti con soli danni materiali ed i dati di incidente non sono collegati con i dati geometrici della strada e con i volumi di traffico in quanto queste banche dati, pur essendo richieste dal Codice della Strada (Decreto Legislativo 30 aprile 1992 n. 285) non esistono; in modo particolare le caratteristiche geometriche della strada sono descritte da un unico campo nel modulo ISTAT, di conseguenza è impossibile descrivere in modo adeguato le caratteristiche geometriche del sito dove si è verificato l'incidente.

Altro fattore degno di nota è la modalità di classificazione degli incidenti in base alla gravità essendo effettuata dalla Polizia senza verificare a posteriori i referti medici degli ospedali, eccetto quando la persona coinvolta nell'incidente muore in ospedale. Gli ospedali posseggono le loro banche dati sui feriti degli incidenti stradali ma non esiste alcun collegamento sistematico con la banca dati della Polizia. Relativamente alle persone coinvolte, la banca dati ISTAT non riporta informazioni sulle persone illese e ciò influenza notevolmente l'analisi della gravità dell'incidente. Tra i fattori che l'Istat tiene in considerazione è la presenza di picchi di incidentalità in determinate fasce orarie e periodi della settimana. I valori massimi vengono infatti registrati tra il lunedì e il venerdì in corrispondenza degli spostamenti casa-lavoro e nel finesettimana durante le ore della notte a causa delle scarse condizioni di illuminazione nelle quali riversano alcune strade. Tutto questo ha portato alla necessità di garantire una visibilità quanto più possibile ottimale per il

conducente ed è anche da questa necessità che nasce l'idea di barriere “intelligenti” dotate anche di sistemi di illuminazione continui.

1.1 CAUSE PRINCIPALI DI INCIDENTI STRADALI

Così come riportato dai dati Istat nell'anno 2019⁴, tra le cause principali di incidenti stradali vi sono la distrazione, il mancato rispetto della precedenza e la velocità troppo elevata. L'Istat [2] riporta, in forma tabellare, le cause accertate o presunte di incidenti in relazione alle diverse categorie di strada. Tale tabella è sotto riportata (Tab. 1.1).

DESCRIZIONE CAUSE	Strade urbane		Strade extraurbane		Totale	
	Valori assoluti	%	Valori assoluti	%	Valori assoluti	%
Procedeva con guida distratta o andamento indeciso	22.922	14,1	10.887	17,9	33.809	15,1
Procedeva senza rispettare la precedenza o il semaforo	27.047	16,6	3.835	6,3	30.882	13,8
- procedeva senza rispettare lo stop	9.198	5,7	1.697	2,8	10.895	4,9
- procedeva senza dare la precedenza al veicolo proveniente da destra	7.068	4,3	844	1,4	7.912	3,5
- procedeva senza rispettare il segnale di dare precedenza	9.108	5,6	1.178	1,9	10.286	4,6
- procedeva senza rispettare le segnalazioni semaforiche o dell'agente	1.673	1,0	116	0,2	1.789	0,8
Procedeva con velocità troppo elevata	13.344	8,2	7.422	12,2	20.766	9,3
- procedeva con eccesso di velocità	12.892	7,9	7.146	11,8	20.038	9,0
- procedeva senza rispettare i limiti di velocità	452	0,3	276	0,5	728	0,3
Procedeva senza mantenere la distanza di sicurezza	12.444	7,7	7.763	12,8	20.207	9,0
Manovrava irregolarmente	12.184	7,5	3.390	5,6	15.574	7,0
Svoltava irregolarmente	4.099	2,5	536	0,9	4.635	2,1
Procedeva contromano	2.877	1,8	1.591	2,6	4.468	2,0
Sorpassava irregolarmente	2.695	1,7	1.184	1,9	3.879	1,7
Ostacolo accidentale	2.777	1,7	2.332	3,8	5.109	2,3
Veicolo fermo evitato	836	0,5	700	1,2	1.536	0,7
Non dava la precedenza al pedone sugli appositi attraversamenti	7.655	4,7	145	0,2	7.800	3,5
Buche, ecc. evitato	712	0,4	637	1,0	1.349	0,6
Circostanza imprecisata	30.900	19,0	11.172	18,4	42.072	18,8
Veicolo fermo in posizione irregolare urtato	1.928	1,2	417	0,7	2.345	1,0
Altre cause relative al comportamento nella circolazione	5.516	3,4	1.977	3,3	7.493	3,4
Comportamento scorretto del pedone	6.077	3,7	570	0,9	6.647	3,0
Totale comportamento scorretto del conducente e del pedone	154.013	94,7	54.558	89,8	208.571	93,4
Altre cause	8.648	5,3	6.181	10,2	14.829	6,6
Totale cause (b)	162.661	100,0	60.739	100,0	223.400	100,0

(a) Sono incluse nel prospetto tutte le circostanze registrate per i primi due veicoli coinvolti. Per ogni veicolo possono essere indicate fino a tre tipologie di circostanze.

(b) Il totale cause è riferito al numero complessivo delle cause accertate o presunte, corrispondenti ai conducenti dei primi due veicoli coinvolti nell'incidente, comunicate dalle forze dell'ordine al momento del rilievo. Il dettaglio delle singole voci in tabella è riferito alle sole circostanze legate ad inconvenienti di circolazione.

Tabella 1.1: cause accertate o presunte di incidente per categoria della strada (Istat)

⁴ Fonte: <https://www.aci.it/laci/studi-e-ricerche/dati-e-statistiche/incidentalita/la-statistica-istat-aci/2019.html>

Per quanto concerne l'informazione sugli incidenti stradali correlati ad alcool e droga, avverte il rapporto ACI-Istat, è stata ricavata da altre fonti informative, come il Comando Generale dell'Arma dei Carabinieri e la Polizia stradale (i quali rilevano complessivamente circa un terzo degli incidenti stradali con lesioni). Da tali fonti, risulta che su un totale di 40.310 incidenti con lesioni osservati dai due Organi accertatori, sono stati 3.692 quelli con almeno uno dei conducenti dei veicoli coinvolti era in stato di ebbrezza e 1.391 quelli per i quali si è rilevato l'effetto di stupefacenti. Il 9,2% e il 3,5% degli incidenti rilevati da Carabinieri e Polizia Stradale nel complesso, sono quindi correlati ad alcool e droga⁵. Da notare che le proporzioni sono aumentate rispetto al 2019, soprattutto per lo stato di ebbrezza alla guida (8,7% e 3,4%), seppure il periodo sia stato caratterizzato da una forte diminuzione degli incidenti e delle vittime.

Tra i punti cardine elencati nel capitolo 1 di suddetto documento sono stati individuate le diverse procedure che sono state seguite su tutto il territorio Europeo e che hanno reso le strade europee tra le più sicure al mondo secondo quanto dichiarato dal Parlamento EU⁶.

In questo testo l'attenzione verterà sul terzo dei sette punti fondamentali, che vede come elementi di maggior rilievo i dispositivi di sicurezza stradali.

1.2 RIDUZIONE TASSO DI INCIDENTI MORTALI PER EFFETTO DELLE BARRIERE DI SICUREZZA

Non potendo far riferimento a dati statistici riguardanti esclusivamente la riduzione di mortalità per diffusione nelle strade dei sistemi di sicurezza quali guardrail, si ricerca allora un trend di incidentalità che mostri, in maniera indiretta, l'impatto delle barriere di sicurezza nello scongiurare incidenti mortali in ambito stradale.

Come certificato dall'Istat⁷ [3], dagli anni Cinquanta gli incidenti e il numero di feriti annui hanno subito un costante incremento. Nonostante la presa in considerazione della pericolosità stradale e l'inizio delle prime misure di prevenzione e sicurezza autostradale, a causa dell'aumento esponenziale del numero di veicoli in circolazione non si era ancora in grado di soddisfare i requisiti di sicurezza minimi richiesti per la diminuzione del numero di incidenti.

Osservando solo l'andamento di incidentalità autostradale riportato in Fig. 1.4 [4], viene confermato l'aumento appena descritto. Tuttavia, non risulta essere questo l'unico parametro da considerare per affermare che non sia avvenuto col tempo alcun aumento della sicurezza; per questo motivo risulta più efficiente mettere a confronto l'andamento della mortalità in strade extra-urbane o autostrade e non quello di incidentalità. Dalla raccolta di dati relativa all'andamento della

⁵ Fonte: Istat anno 2019

⁶ Fonte: <https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/society/20190410STO36615/le-statistiche-sugli-incidenti-stradali-mortali-nell-ue-infografica>

⁷ Fonte: https://www.aci.it/fileadmin/documenti/studi_e_ricerche/dati_statistiche/incidenti/Incidenti_Stradali_dal_1930.pdf

mortalità a seguito di incidenti si osserva come questa, a differenza della precedente, sia soggetta ad una tendenza calante (Fig. 1.5) [4]. È proprio questa tendenza a mostrare quanto gli effetti delle misure di sicurezza, barriere e segnaletica essendo queste le più adottate sin dall'inizio, abbiano giocato un ruolo fondamentale nell'aumento della agibilità e confort autostradale.

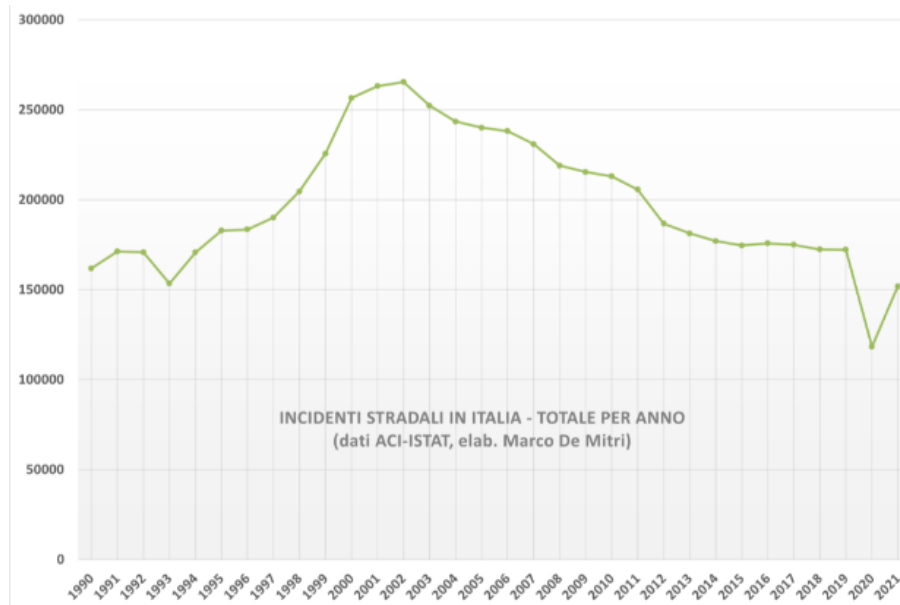


Figura 1.4: Andamento incidentalità negli anni in Italia

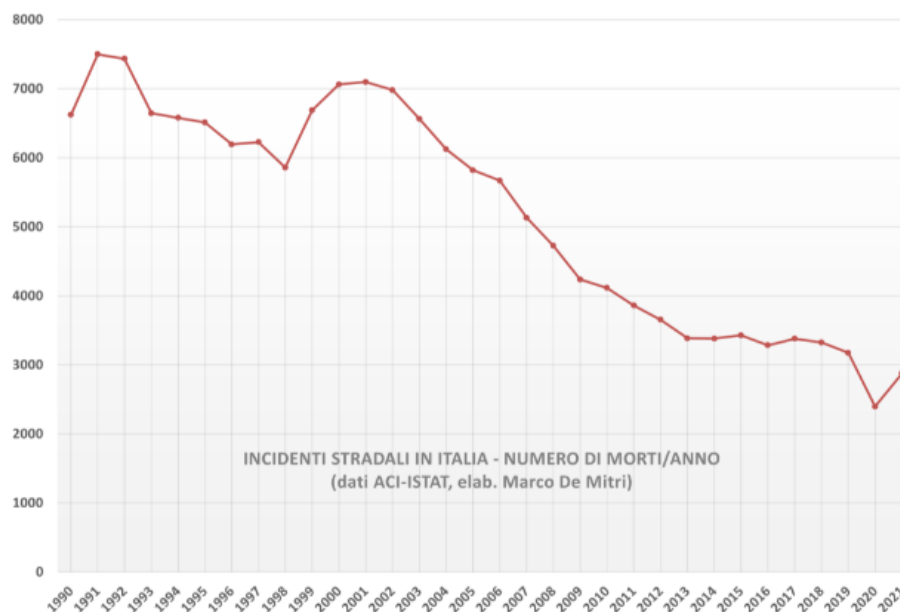


Figura 1.5: Andamento del tasso di mortalità per incidenti in Italia

Si rende noto che, secondo quanto certificato dall'Istat (fonte 7), l'Italia nell'ultimo decennio ha registrato una notevole riduzione di morti in incidente stradale mostrando una diminuzione del numero delle vittime fino al 42,4%, in linea con la media europea; come conseguenza diretta di tutte le misure di sicurezza adottate nelle strade nei vari anni.

Dati i costi annuali economici e sociali eccessivamente elevati, l'Agenda 2030, ossia il programma d'azione sottoscritto nel 2015 dai governi dei 193 Paesi membri dell'ONU, prevede tra i diversi obiettivi “Assicurare la salute e il benessere per tutti e per tutte le età”, garantendo uno specifico impegno per la riduzione delle vittime stradali. Tale impegno è perseguito a livello europeo con l'intento di giungere all'azzeramento del numero di vittime della strada per mezzo dell'attuazione dei seguenti punti cardine del documento di lavoro della Commissione “EU Road Safety Policy Framework 2021-2030- Next step towards Vision Zero” (SWD (2019)):

- ulteriore dimezzamento del numero delle vittime degli incidenti nel decennio 2011-2020;
- miglioramento dell'educazione e della formazione;
- rafforzamento del controllo; miglioramento della sicurezza delle infrastrutture stradali e dei veicoli.

CAPITOLO 2. DISPOSITIVI DI RITENUTA STRADALE

La definizione indicante la finalità delle barriere di sicurezza stradali e degli altri dispositivi di ritenuta è indicata dal DM 29/10/1998 Art. 2, per poi essere ripresa nei successivi aggiornamenti e nel nuovo Decreto Ministeriale del 21/6/2004⁸ [5]; è in seguito riportata in un estratto:

“Le barriere di sicurezza stradale e gli altri dispositivi di ritenuta sono posti in opera essenzialmente al fine di realizzare per gli utenti della strada e per gli esterni eventualmente presenti, accettabili condizioni di sicurezza in rapporto alla configurazione della strada, garantendo, entro certi limiti, il contenimento dei veicoli che dovessero tendere alla fuoriuscita dalla carreggiata stradale.”

Le barriere di sicurezza stradale devono quindi presentare le seguenti caratteristiche:

- Devono essere progettate in modo tale che, in caso in cui dovesse sussistere un impatto, le accelerazioni subite dai passeggeri all'interno del mezzo risultino quanto più esigue possibili;
- Devono garantire un livello di contenimento adeguato precisato in base alla tipologia di strada nella quale saranno posti e alla tipologia di traffico veicolare caratterizzante la strada stessa;
- Devono essere in grado di avere un design e una resistenza adeguata alla situazione tale da reindirizzare il veicolo verso l'interno della carreggiata cercando quindi di ripristinare l'originaria traiettoria del mezzo senza che questo possa essere un pericolo per gli altri veicoli in transito;
- Devono avere un buon rapporto tra deformazione plastica a seguito dell'incidente e resistenza all'impatto. La sua progettazione dovrà assicurare una tenacia tale da resistere all'impatto così da evitare conseguenze peggiori al veicolo ma dovrà al contempo deformarsi senza recare danni strutturali alla pavimentazione stradale (progettazione tramite capacity design).

Bisogna prestare particolare attenzione poi alla progettazione delle parti terminali della barriera longitudinale, sia perché in tali zone la barriera non è in grado di garantire la sua funzione non essendo direttamente sottoposte a prove d'urto, sia perché il terminale di una barriera può rappresentare, per un veicolo che va ad urtare contro di esso, un elemento estremamente pericoloso in caso di impatto. Viene riportata in Fig. 2.1 una situazione purtroppo frequente di disastri avvenuti per effetto di un terminale non opportunamente progettato

⁸ Fonte: <https://www.mit.gov.it/normativa/decreto-ministeriale-numero-2367-del-21062004>



Figura 2.1: Terminale non correttamente progettato

2.1 NORMATIVA

I sistemi di ritenuta stradale (RRS- Road Restraint System) nacquero dall'esigenza di garantire un livello di sicurezza nella viabilità stradale da potersi ritenere adeguato, in rapporto alla configurazione dell'infrastruttura, in modo da limitare l'insorgere di conseguenze negative prodotte a seguito di un incidente a terzi. Tali elementi, infatti, non garantiscono un rischio incidente nullo ma, la loro progettazione avviene per realizzare dei dispositivi idonei ad assorbire parte dell'energia di cui è dotato il veicolo in movimento, limitando contemporaneamente gli effetti d'urto sui passeggeri e a reindirizzare il veicolo tendente alla fuoriuscita dalla carreggiata, ripristinando il senso di marcia.

Lo studio dei sistemi di sicurezza stradale nacque nei primi anni Trenta in America con l'utilizzo di barriere a cavi poste ai lati della carreggiata, ponevano le loro basi sui concetti di sicurezza stradale denominati come sicurezza "passiva". Con il termine "passiva" si definisce l'insieme dei provvedimenti finalizzati a mitigare i danni primariamente alle persone e posteriormente agli oggetti coinvolti. Con l'avanzare degli anni e con una sempre crescente attenzione nei confronti della sicurezza stradale, i sistemi di ritenuta hanno subito innumerevoli modifiche divenendo sempre più performanti ed efficaci.

Per l'inizio di un percorso normativo bisognerà comunque attendere la seconda metà del Novecento. La prima legge che fece richiamo alla sicurezza stradale fu la Legge n. 181 del 21/4/1962 [6] ma ancora non vi era alcuna norma che regolamentasse la progettazione e il collaudo di tali dispositivi. Fu solo con l'emanazione della Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n° 2337 dell'11 luglio 1987 [7] che l'Italia inizia a dotarsi di prescrizioni in merito a livello nazionale; tale prescrizione mira a regolamentare l'uso e la realizzazione di barriere autostradali in acciaio a seguito di uno studio statistico realizzato proprio in quegli anni che dimostrò la diretta correlazione tra dispositivo di sicurezza e i rischi derivanti da un'incidente i quali affermarono in maniera

evidente come la barriera sia uno strumento determinante sulla gravità delle conseguenze di uno svio di un veicolo. Gli studi eseguiti per approfondire tale tematica condussero alla redazione del *“Catalogo generale delle barriere di sicurezza”*, denominato in seguito anche come *“Catalogo blu”* che fu approvato dalla Quinta Sezione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici con votazione n° 21 del 26/05/1988.

Pochi anni dopo seguì un Decreto Ministeriali atto a regolamentare la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza (D.M. n.223 del 18/02/1992) il quale risultò essere il primo atto normativo volto ad affrontare in modo organico la materia trattando esclusivamente la tipologia di barriere longitudinali.

Il decreto subì negli anni successivi numerosi aggiornamenti e modifiche avvenute nel 1996 con il D.M.15/10/1996 e, due anni dopo, con il D.M.03/06/1998 [8], che risulta di particolare importanza storica poiché avviene una forte modifica della normativa andando ad aggiungere nuovi sistemi di ritenuta quali:

- Attenuatori d'urto;
- Terminali.

Gli attenuatori d'urto nascono dall'esigenza di proteggere i veicoli da urti contro ostacoli puntuali quali, ad esempio, pile di ponti e/o pali. Sono sistemi autoportanti che scaricano tutte le forze necessarie a contenere e ad arrestare il veicolo sulla pavimentazione stradale mentre i secondi, ovvero i terminali, sono sistemi di protezione installati all'inizio o alla fine di una barriera di sicurezza ed hanno requisiti simili agli attenuatori appena descritti ma, contrariamente a quest'ultimi, non trasferiscono i carichi ricevuti alla pavimentazione stradale ma scaricano sulle barriere tutte le forze sviluppate durante l'urto.

Vengono, in questo stesso decreto, proposti nuovi parametri per la classificazione e la valutazione prestazionale quali Livello di contenimento (Lc) e Indice di severità dell'accelerazione (ASI).

Altri aggiornamenti avvennero negli anni seguenti (D.M.11/06/1999, D.M.02/08/2001, D.M. 23/12/2002) per poi giungere ad un'ulteriore svolta data dall'esigenza di aggiornare le norme tecniche fino a quegli anni vigenti e di comprendere ufficialmente le norme UNI EN1317 che definiscono le modalità di esecuzione delle prove d'urto e i relativi criteri di accettazione ed omologazione (D.M. 21/06/2004 [5]).

Ed è proprio in materia di omologazione che seguiranno, sempre nel medesimo anno, circolari atte a definire la *“Direttiva sui criteri di progettazione, installazione, verifica e manutenzione dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali”* (circolari n° 3065 del 25/08/2004), le *“Direttive inerenti le procedure ed i documenti necessari per le domande di omologazione dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali”* (ai sensi della n° 3533 del 20/09/2005 D.M. 21/06/04) e, con la circolare n° 104862 del 15/11/2007 si definisce infine la *“Scadenza della validità delle omologazioni delle barriere di sicurezza rilasciate ai sensi delle normative antecedenti il D.M. 21/06/04”*.

Furono emanate altre norme atte ad implementare o ad aggiornare quanto dichiarato e stabilito dalle precedenti, fino a giungere ad un'ulteriore circolare del 2010 (circolare n.62032 del 21/07/2010 [9]) con la quale il Ministero dell'Infrastruttura e dei Trasporti intese dare una serie di chiarimenti interpretativi riguardanti la tipologia di barriera, destinazione, classe minima richiesta e sviluppi minimi delle barriere, corretta applicazione della larghezza operativa e dello spazio di lavoro dell'impiego su strada delle barriere di sicurezza, protezione dei punti singolari, adattamento dei dispositivi alla sede centrale, terminali ed attenuatori d'urto, conformità dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali e loro installazione. Tutte queste trattazioni vennero chiarite e discusse in maniera estesa nel: "Manuale per l'utilizzo e l'installazione del prodotto".

Il 28/06/2011 il Ministero delle Infrastrutture emana un nuovo Decreto Ministeriale con l'intento di regolamentare la transizione verso la marcatura CE, per la caratterizzazione e l'attestazione di qualità dei prodotti che dovrà essere rilasciata da un Organismo Notificato. Il Decreto aggiornò le istruzioni tecniche per l'uso e l'installazione dei dispositivi di ritenuta stradale ed i diversi controlli in fase di accettazione e installazione.

Con il Regolamento n° 305/2011 (CPR: Construction Products Regulation) entrarono in vigore le condizioni relative all'immissione sul mercato Europeo dei prodotti da costruzione, furono definiti anche i criteri di valutazione delle prestazioni insieme alle condizioni di utilizzo della marcatura CE.

2.2 CLASSIFICAZIONE IN BASE ALL'INSTALLAZIONE

Con l'obiettivo di garantire un livello di sicurezza e prestazione quanto più elevato possibile risulta necessario eseguire un'analisi accurata che tenga conto di numerosi fattori alcuni dei quali sono: la destinazione, l'ubicazione, le caratteristiche della strada e del traffico cui essa stessa sarà interessata e quindi ai volumi di traffico.

Secondo quanto definito dal D.M.21/06/2004 [5] a seconda dell'installazione e alla zona che dovrà essere protetta dalla disposizione dei dispositivi vi è la distinzione tra le seguenti barriere:

- *Barriere centrali da spartitraffico*

Tale tipologia di barriera è posizionata nell'area relativa allo spartitraffico ovvero nella parte non carrabile del margine interno o laterale destinata alla separazione fisica di correnti veicolari. Possono essere progettate come un unico dispositivo di ritenuta e su queste barriere, per motivi di spazio, vengono spesso installati dispositivi di segnaletica posizionati in modo da non aumentare il pericolo stradale;

- *Barriere laterali*

Sono tra i più diffusi sistemi di ritenuta longitudinali installati lungo i margini della strada e hanno la funzione di limitare la pericolosità determinata dalla combinazione tra pendenza della scarpata (nel caso in cui questa risulti maggiore o pari ai 2/3) e il dislivello tra terreno naturale e piano stradale se questo dovesse risultare essere maggiore di 1m. Nei punti in cui la pendenza risulti inferiore al valore limite, la necessità di tale protezione sarà definita dalla combinazione tra pendenza scarpata e dal suo dislivello tenendo conto di eventuali pericoli quali edifici, depositi, strade o ferrovie posti ad un livello inferiore ;

- *Barriere sulle opere d'arte quali ponti, viadotti, sottovia, muri, etc.*

Lo scopo di tali sistemi è quello di moderare i rischi derivanti dallo scavalco da parte dei veicoli in prossimità di forti dislivelli di piano. Sono progettate per resistere a prove d'urto elevate indipendentemente dalla lunghezza delle sopracitate opere d'arte e dalla loro altezza dal piano campagna. La loro estensione dovrà andare oltre la fine dello sviluppo longitudinale dell'opera, fino a quando non si andranno a raggiungere dei punti nei quali cessi la richiesta di tale protezione. Non essendo possibile l'infissione al suolo saranno spesso ancorate per mezzo della bullonatura;

- *Barriere a protezione di punti singolari quali barriere per chiusura varchi, attenuatori d'urto etc.*

Costituiscono dei dispositivi di sicurezza opportunamente studiati per la tutela di punti critici interni al margine stradale quali pile di ponti, pali di illuminazione, alberature, supporti per la segnaletica, corsi d'acqua e manufatti quali sono gli edifici poiché, in caso di fuoriuscita dalla carreggiata, il pericolo potrebbe sussistere anche per terzi esterni.

I dispositivi saranno più o meno performanti in funzione alle diverse caratteristiche stradali e di percorrenza.

In ogni caso tutte le barriere di sicurezza dovranno rispondere ad una serie di requisiti aventi lo scopo di regolamentarne il progetto e garantirne l'efficacia di funzionamento.

Successivamente si procederà a definire le dimensioni longitudinali e trasversali di ogni singola installazione in funzione della tipologia di barriera scelta.

Per quanto concerne le modalità di installazione le barriere devono essere posizionate ad un interasse predefinito in base alla classe di resistenza all'urto.

I sostegni verticali devono essere piantati tramite l'utilizzo di battipalo e bloccati con bulloni in numero stabilito sul certificato di omologazione della barriera (Fig.2.2) e alternando, se è previsto, i dissipatori e/o distanziatori. Le barriere vanno inoltre sovrapposte nel senso di marcia in modo da garantire che la fascia posta in precedenza sia sovrapposta a quella che segue.



Figura 2.2: Particolare di montanti pullonati al suolo

2.3 CLASSIFICAZIONE IN BASE AI MATERIALI UTILIZZATI

Ai fini della classificazione dei ritegni di sicurezza, la distinzione avviene tramite diversi parametri tra i quali entrano in gioco anche i materiali costituenti gli elementi principali [10]. La scelta del tipo di materiale verterà non solo in funzione ai requisiti di resistenza meccanica e durabilità, ma anche ai requisiti di compatibilità ambientale e di pregi estetici. Quando è richiesto un vincolo estetico, si andranno ad utilizzare materiali di riciclo accoppiati con altri materiali di uso comune quale acciaio e calcestruzzo.

Tra le barriere utilizzate vi sono:

- Barriere in acciaio;
- Barriere in calcestruzzo;
- Barriere miste acciaio-calcestruzzo o acciaio-legno;
- Barriere in materiali speciali o di riciclo.

2.3.1 BARRIERE IN ACCIAIO

Le barriere in acciaio sono tra le più diffuse realizzate maggiormente con acciaio strutturale di tipo zincato a caldo S235JR - S275JR - S355JR secondo quanto definito dalla normativa europea di riferimento EN 1461 del 2009 oppure secondo il sistema di designazione alfanumerica definito dalla norma UNI EN 10027. Sono schematizzate mediante una trave metallica continua vincolata ad un appoggio discreto e interasse variabile nelle diverse situazioni (funzione di flusso del traffico e volume mezzi pesanti) considerando tuttavia che tra i supporti di una medesima zona sarà

costante con valore sufficiente per consentire lo sviluppo della deformazione della trave in caso di impatto.

Sono sottoriportate in Fig.2.3 due esempi di sistemi di ritenuta.



Figura 2.3: Esempi di barriere metalliche

Nella loro configurazione più comune gli elementi strutturali costituenti tali sistemi di ritenuta metallici sono:

- *Pali o Montanti*: infissi su terra o vincolati con bulloni;
- *Nastri*: costituiti da una o più lamiere sagomate con doppia o tripla onda così da garantire in caso di impatto il contenimento del veicolo;
- *Correnti longitudinali*: elementi disposti parallelamente al nastro e possono essere sia inferiori, denominati come para ruota, che superiori se posti in corrispondenza dell'opera d'arte;
- *Distanziatori*: posti tra i nastri e i montanti con lo compito di dissipare l'energia rilasciata nel caso di urti leggeri e di garantire l'effetto di risalita del nastro così da impedirne lo scavalcamento. Non sempre è possibile notare la loro presenza;
- *Diagonali di controvento*: anche se non sempre risulta necessaria la loro presenza;
- *Bulloneria e supporti*: permettono il collegamento e l'infissione dei montanti.

L'infissione di questi sistemi di ritenuta richiede, come già esplicitato, un interasse regolare di ogni palo (o montante) sul supporto del margine stradale a differenza di quelle ancorate su cordoli che richiedono la presenza di tirafondi opportunamente dimensionati.

Sono riportate delle schematizzazioni di barriere costituite in acciaio con i vari elementi principali (Fig. 2.4 e in Fig. 2.5).

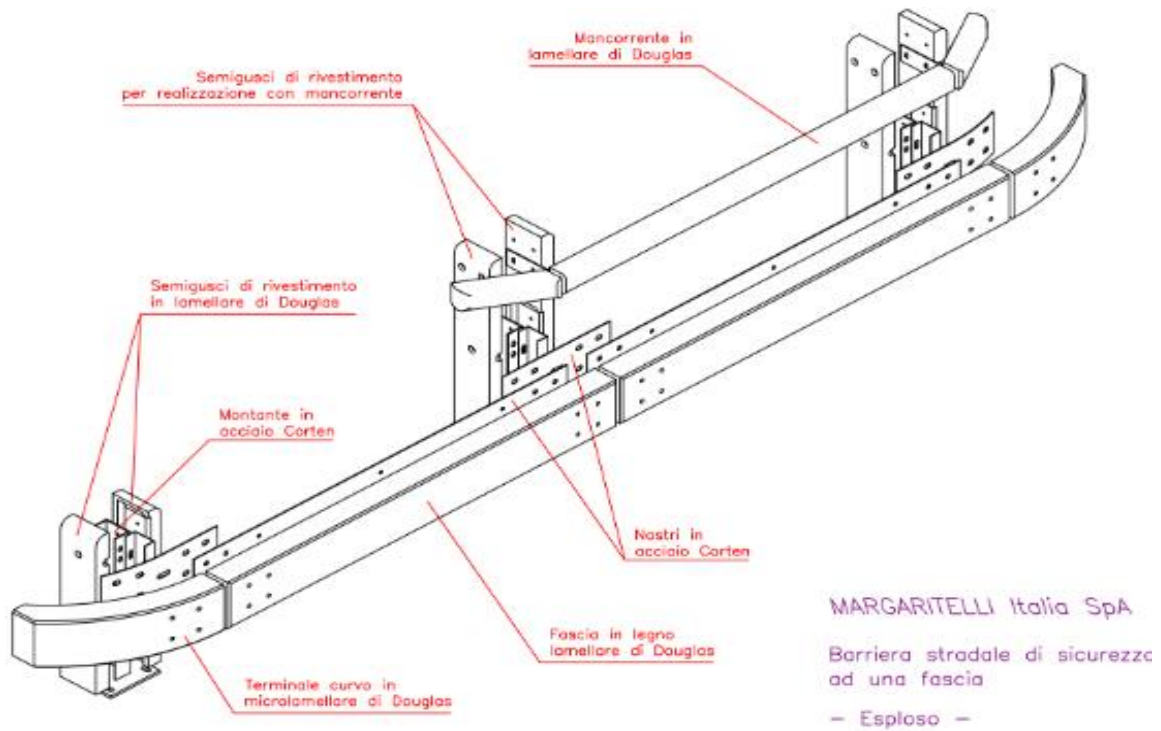


Figura 2.4: Elementi strutturali barriere metalliche

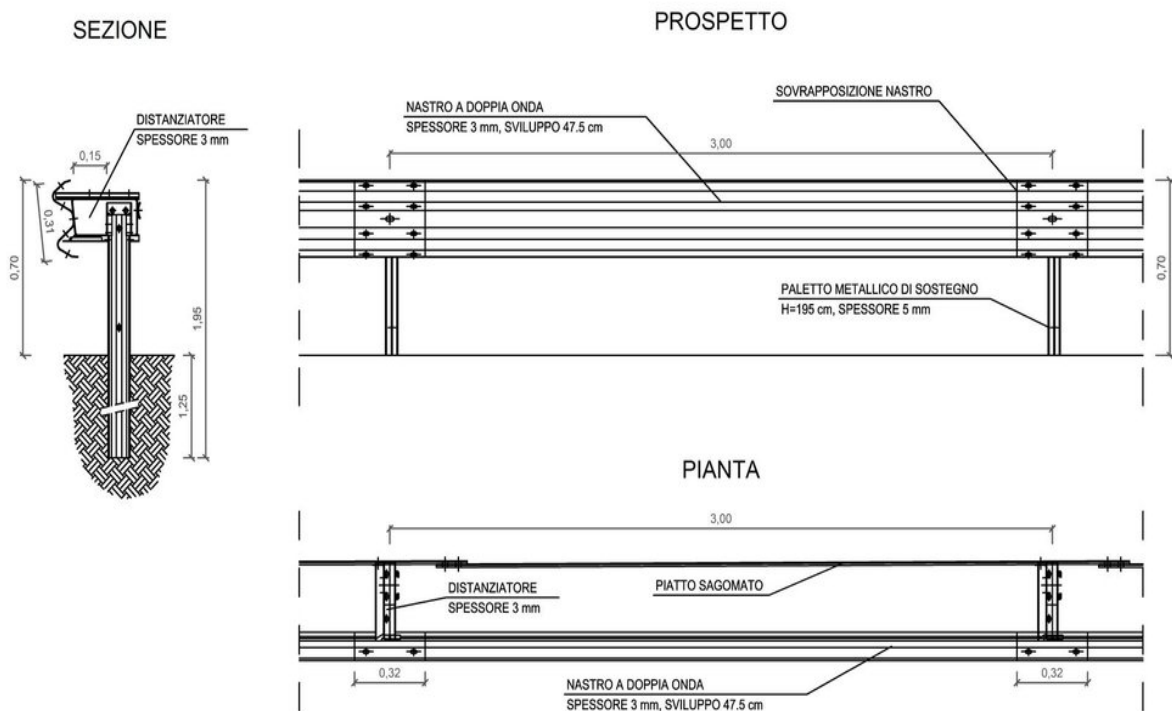


Figura 2.5: Elementi strutturali barriere metalliche(Archwed.it)

2.3.2 BARRIERE IN CALCESTRUZZO

Per quanto riguarda la realizzazione di barriere di ritenuta in calcestruzzo vibrato e armato, sono solitamente composte da elementi modulari prefabbricati che possono essere connessi tra loro o meno. Sono generalmente note in commercio come “New Jersey” e prendono il nome proprio dallo stato degli USA che fu il primo ad adottarli nel 1955.

Tale tipologia è anche nota con l'appellativo di “safety shape” ovvero “profilo di sicurezza” per la sua particolare forma a L o a T capovolta che li contraddistingue dagli altri sistemi di ritenuta stradale. Si notò infatti che, per effetto di questa particolare conformazione, vi era un più efficiente reindirizzamento del veicolo all'interno della carreggiata e, correlatamente, una diminuzione dei casi di ribaltamento dei veicoli. Il risultato fu raggiunto perché in caso di urto del veicolo contro il sistema, con risalita della ruota su di esso, grazie all'inclinazione del piede che è definita in funzione alla classe d'urto, questa risultava obbligata a ruotare verso l'interno.

Altro fattore degno di nota è lo sviluppo parallelo alla conformazione della strada con modulo costante, per cui viene meno il pericolo esistente per le altre tipologie di barriere in caso di urto dei veicoli contro elementi più rigidi e robusti (ad esempio i paletti dei guardrail).

Le principali mansioni che devono assolvere i dispositivi di ritenuta vengono che vengono riassunte e che sono soddisfatte in maniera egregia da tali sistemi di sicurezza sono:

- non essere superato o sfondato dal veicolo urtante;
- evitare che il veicolo si ribalti a causa dell'urto;
- determinare delle decelerazioni nei passeggeri che non superino i valori limite ammissibili dal corpo umano;
- reindirizzare il veicolo all'interno della carreggiata senza che esso collida con i veicoli sopraggiungenti.

Deve inoltre essere sottolineato che l'urto di un veicolo possa avvenire in un qualsiasi punto del dispositivo di ritenuta; dovendo quindi garantire omogenee ed elevate capacità di deformazione lungo tutta la sua estensione così da poter essere idonee ad assorbire quante più energia sprigionata dall'impatto.

In passato lo scopo dei sistemi era unicamente quello di evitare la fuoriuscita di veicoli dalla carreggiata ed erano quindi rappresentati da muri di sostegno a tutta altezza (all'incirca 60-65 cm) non curanti degli effetti che strutture molto rigide potevano avere sui passeggeri. Fu solo a partire dagli Anni '50 che si riconobbe la necessità di adottare protezioni meno rigide introducendo per la prima volta il concetto di duttilità per la progettazione delle barriere. L'altezza utilizzata in passato venne in seguito aumentata fino ad arrivare alla situazione attuale con un'altezza massima di 1m. Dal 2005, secondo la Direttiva 89/106/CEE [11], l'osservanza dei requisiti tecnici specifici per i tutti i cordoli in calcestruzzo comprendendo quindi anche le barriere New Jersey, è diventata obbligatorio in tutto l'ambito CE. Questa direttiva richiede il rispetto dei requisiti stabiliti nella Norma Europea UNI EN 1340 [12].

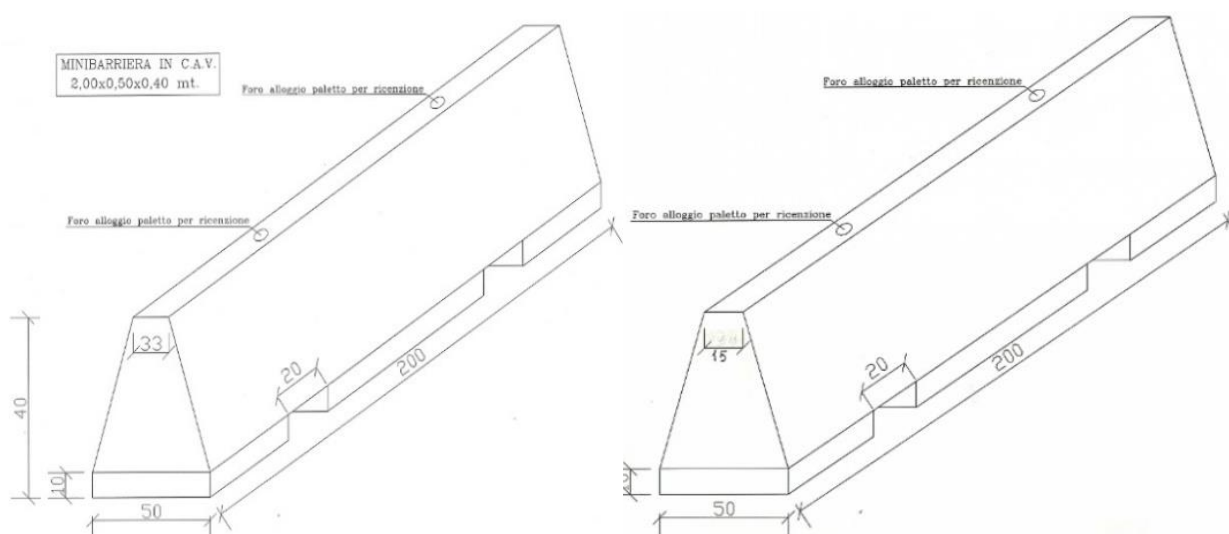
Si riporta una rappresentazione in Fig.2.6 dei dispositivi sopra descritti.



Figura 2.6: Barriere New Jersey in diverse altezze

Come ben visibile in Fig. 2.6 non vi è un unico modello in termini di dimensioni dei sistemi di ritenuta; possono infatti variare sviluppando comportamenti prestazionali altamente differenziati, in particolare per quanto riguarda la capacità di dissipare l'energia dovuta all'urto di veicoli legata non solo alle dimensioni, ma anche ai sistemi di collegamento selezionati a seguito di attente analisi effettuate in fase di progetto. La scelta di un modello al posto di un altro verrà dettata da verifiche e valutazione effettuate sulla base dei criteri descritti nei punti precedenti.

Vengono riportate in Fig.2.7 sistemi New Jersey con diverse dimensioni standard ricordando, in aggiunta, che non è solo l'altezza soggetta a variazione ma anche la lunghezza (massima 4m).



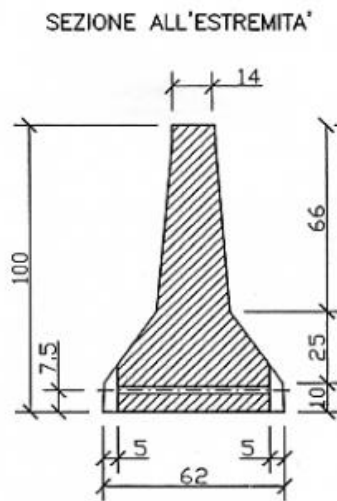


Figura 2.7: Barriere New Jersey altezza: 0,4m, 0,7m e 1m. Estratto da: "LCM Infrastrutture Stradali"

Le componenti principali sono:

- gli elementi prefabbricati composti da calcestruzzo armato che può essere o meno ancorato alla base in funzione del luogo di installazione;
- tiranti longitudinali, ovvero elementi di ancoraggio che garantiscono la continuità strutturale del dispositivo;
- il terreno di riempimento posto tra due file di barriera se queste sono usate come spartitraffico;
- la bullonatura di collegamento utilizzata laddove le barriere necessitino di essere installate sul cordolo. Le barriere sono comunemente realizzate in semplice appoggio e per questo non molto frequentemente si ricorre alla bullonatura.

Così come ampiamente affermato i New Jersey sono costituiti da corpi monolitici che, nella maggior parte dei casi, necessitano di essere collegati longitudinalmente tra loro tramite collegamenti orizzontali che possono essere di tre tipologie differenti:

- barre rullate passanti nel New Jersey;
- piastre al piede;
- ancorante antiribaltamento.

Inoltre, le testate dei New Jersey sono sagomate in maniera tale da poter essere accoppiate tra loro mediante connessione del tipo "maschio-femmina"⁹ che funge quindi da ulteriore collegamento oltre a facilitare il posizionamento in fase di messa in opera. In Fig. 2.8 vengono riportati i vari elementi di collegamento.

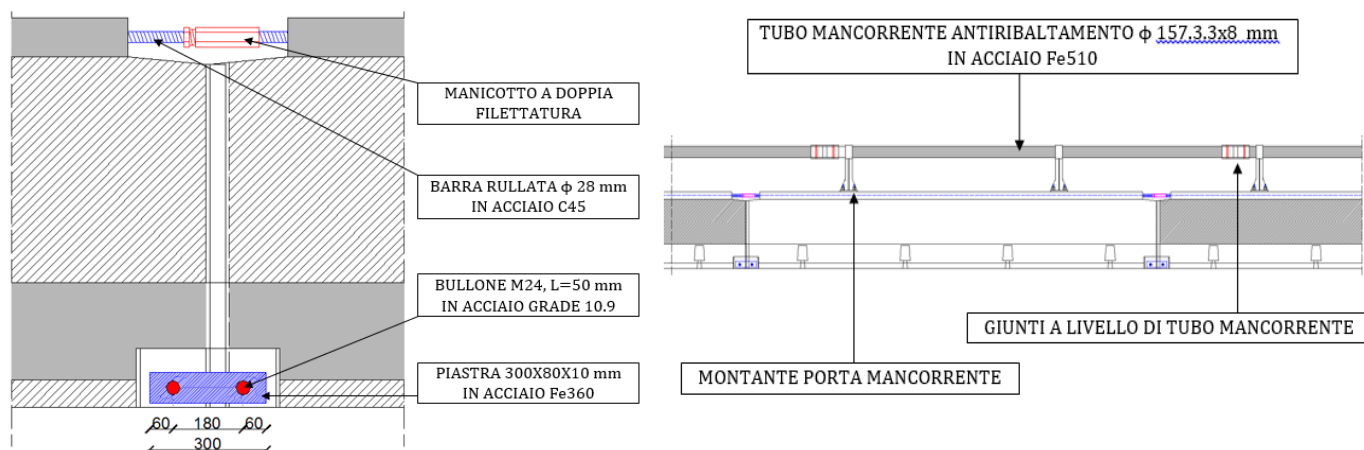


Figura 2.8: Elementi di collegamento orizzontali per barriere tipo New Jersey

2.3.3 BARRIERE MISTE ACCIAIO-CALCESTRUZZO

Le barriere miste acciaio-calcestruzzo hanno alla base una barriera in cemento armato tipo New Jersey alla cui sommità è collocata una trave d'acciaio con lo scopo di riuscire ad abbinare le caratteristiche deformative dell'acciaio con le caratteristiche delle barriere tipo New Jersey descritte ampiamente del capitolo 2.2.2..

Viene riportata in Fig. 2.9 un esempio tipico di barriere miste.



Figura 2.9 Barriere miste acciaio-calcestruzzo

⁹ Fonte: <https://www.ingenio-web.it/3630-aspetti-delle-caratteristiche-prestazionali-di-barriere-stradali-tipo-new-jersey----descrizione-generale>

2.3.4 BARRIERE MISTE ACCIAIO-LEGNO

Costituite da una barriera metallica rivestita, secondo diverse metodologie, da elementi in legno. Nascono dalla necessità di ricoprire l'anima in acciaio, esteticamente poco gradevole, per installazioni da eseguirsi in zone ad alto pregio ambientale, sia in ambiente urbano che extraurbano, così da armonizzarsi con il contesto circostante. Viene riportata una rappresentazione di tali dispositivi (Fig.2.10).



Figura 2.10: Barriere miste acciaio-legno

2.4 INTERAZIONE TRA VEICOLO E LE DIVERSE BARRIERE DI SICUREZZA

Per la scelta tipologica della barriera da installare la normativa prevede diverse categorie di barriere in funzione alla diversa ubicazione all'interno della strada, al tipo di strada stesso e al volume di traffico corrispondente prestando particolare attenzione al volume di traffico dato dai mezzi pesanti poiché da questi veicoli saranno dettate le condizioni più vincolanti.

2.4.1 BARRIERE LONGITUDINALI

Per il selezionamento del sistema idoneo ci si riferirà alla normativa UNI EN 1317:2010 parti 1,2,3,4 [13] nella quale viene riportata la tabella seguente (Tab.2.1) per barriere longitudinali.

Tabella A - BARRIERE LONGITUDINALI				
Tipo di strada	Tipo di traffico	Barriere spartitraffico	Barriere bordo laterale	Barriere bordo ponte
Autostrade (A) e strade extraurbane principali	I	H2	H1	H2
	II	H3	H2	H3
	III	H3-H4 ⁽²⁾	H2-H3 ⁽²⁾	H3-H4 ⁽²⁾
Strade extraurbane secondarie (C) e strade urbane di scorrimento (D)	I	H1	N2	H2
	II	H2	H1	H2
	III	H2	H2	H3
Strade urbane di quartiere (E) e strade locali (F)	I	H2	N1	H2
	II	H1	N2	H2
	III	H1	H1	H2

(1) Per ponti o viadotti si intendono opere di luce superiore a 10 metri; per luci minori sono equiparate al bordo laterale

(2) La scelta tra le due classi sarà determinata dal progettista

Tabella 2.1: Tabella A- Barriere longitudinali in funzione al tipo di strada e traffico

La distinzione delle barriere longitudinali in tre diverse tipologie è dettata principlmente dal modo in cui viene effettuata l'installazione. Il montaggio avviene difatti esternamente alla banchina con

collegamenti del tipo: infissione, ancoraggio o semplice appoggio; tali da fornire diverse richieste strutturali al fine di garantire i requisiti funzionali di sicurezza adatti per quel dato posto.

Per quanto concerne le barriere spartitraffico queste hanno lo scopo di evitare i “salti” di carreggiata e quindi il passaggio di un veicolo dal proprio senso di marcia a quello contrario con un rischio elevato di incidente frontale.

Sulle autostrade queste sono spesso realizzate mediante barriere in cemento armato (come quelle trattate nel capitolo 2.3.2) collegate tra loro e spesso posizionate con semplice appoggio sul terreno.

Nel caso della barriera bordo laterale i montanti vengono invece infissi nel terreno; l’interasse e la profondità d’infissione sono specificati dal produttore. Sarà quindi necessario effettuare diverse e dettagliate analisi geotecniche, antecedenti alla scelta del tipo di infissione che si intende adoperare, con lo scopo di evitare l’incorrere in un non corretto funzionamento delle barriere essendo queste poste in zone di pendenza; basti pensare che il loro posizionamento avviene nella maggior parte dei casi in prossimità delle scarpate e di dislivello tra livello stradale e piano campagna.

Infine, per le barriere bordo ponte non risulta possibile l’infissione al suolo. Per queste particolari situazioni si adotterà un ancoraggio tramite bullonatura a tasselli opportunamente predisposti lungo il cordolo della struttura.

La norma specifica che *“per ponti o viadotti si intendono opere di luce superiore a 10 metri; per luci minori sono equiparate al bordo laterale”* così come è visibile anche in tabella.

La definizione del tipo di traffico nelle tre categorie, andando da I a III, avviene secondo il parametro di Traffico Medio Giornaliero (TMG) stimato su base annua e la percentuale di mezzi pesanti valutati, definendo con tale appellativo tutti i veicolo con peso maggiore di 3,5 tonnellate, previsti. Viene riportata la Tab.2.2 ripresa dalla normativa di riferimento sopracitata.

Tipo di traffico	TMG	% Veicoli con massa > 3,5 t
I	≤ 1000	qualsiasi
I	> 1000	≤ 5
II	> 1000	$5 < n \leq 15$
III	> 1000	> 15

Tabella 2.2: Distinzione livelli di traffico

Si rammenta che la trattazione riportata è valida esclusivamente per barriere di tipo longitudinali in vigore quindi in zone di svincolo e lungo l’asse della strada.

Saranno, infatti, diversi i parametri riportati al cap. 2.4.3 e cap. 2.4.4 per attenuatori frontali e per i terminali.

Riassunto, il progetto e la validazione delle barriere di sicurezza longitudinali avviene, secondo norma, impiegando veicoli a quattro o più ruote. Questo porta però a non considerare la presenza

di altri veicoli che possano circolare lungo le strade con un numero di ruote pari a due. Ciò implica che per i motociclisti le barriere di sicurezza non sempre riescano a soddisfare le funzioni richieste, ovvero un aumento della sicurezza nella circolazione stradale ma, può anche verificarsi che possano costituire un pericolo aggiuntivo in caso di incidente diventando più pericolose dell'elemento schermato o dell'assetto stradale nel quale sono poste.

2.4.2 BARRIERE SALVAMOTOCICLISTI

Per far fronte all'aggressività dei sistemi di ritenuta nei confronti dell'utenza motociclistica nei casi di caduta e scivolamento sulla pavimentazione da parte di quest'ultimi, con conseguente urto con la barriera stessa, si sono messe a punto soluzioni di vario tipo. Molti di questi interventi mirano a ridurre la severità d'impatto contro gli elementi strutturali, siano essi montanti o basi continue di appoggio. Il tema motociclisti è un argomento estremamente attuale difatti il Decreto Ministeriale denominato con l'acronimo DSM è stato emanato il 10 maggio 2019 [14]; fino agli anni antecedenti non vi era ancora nessun regolamento che tutelasse l'incolumità dei centauri. Nelle immagini a seguire vengono riportati due esempi di barriere di sicurezza per motociclisti omologati nel rispetto del DSM (Fig.2.11)¹⁰.



Figura 2.11 Esempi di barriere di sicurezza con annessi sistemi di sicurezza per motociclisti

Un grande vantaggio di questi sistemi di sicurezza longitudinali è legato alla loro installazione in quanto è possibile posizionarli non solo su nuove barriere ma anche in quelle già poste in essere. Le normative prevedono anche la possibilità di progettare, convalidare e installare dispositivi puntuali impiegati solo nel caso di montanti esposti.

Tra i prodotti presenti sul mercato si ha una grande maggioranza di sistemi di ritenuta composti da elementi cavi in polietilene (a media di 5mm di spessore); la sezione, la forma e il materiale

¹⁰Prima immagine presa da Fonte:” www.prealux.it”, attenuatore d'urto ditta “SNOLINE SpA”
Seconda immagine: l'attenuatore d'urto per motociclisti della ditta “METAL WOOD Srl”.

utilizzato consentono una deformazione plastica e una compressione d'aria che determinano un buon assorbimento dell'urto e una protezione efficace dei montanti così da contenere il corpo impattante, portandolo all'arresto, senza che questo vada a percorrere traiettorie pericolose per altri veicoli e, scongiurando la possibilità che il guidatore sia investito da altri mezzi circolanti.

Il 10 maggio 2019 venne pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale ed entrò in vigore solamente 180 giorni dopo la pubblicazione, il decreto “salvamotociclisti”.

Un decreto che, tra le tante novità, prevede in primis l'installazione dei guardrail intelligenti atti a salvaguardare i motociclisti dai classici guardrail i quali risultano più nocivi rispetto alla loro totale assenza causando la morte di tanti centauri coinvolti in incidenti in sella alla loro due ruote.

Il Decreto Salvamotociclisti prevede che vengano installati ogni qualvolta si ricada in una delle seguenti casistiche:

- Nel caso in cui siano presenti delle nuove barriere intelligenti in tutti i raggi di curvatura inferiori ai 250 metri nei casi di interventi di nuova costruzione;
- Adeguamento di tratti stradali esistenti che comportino varianti di tracciato oppure il rinnovo delle barriere di sicurezza stradali su tratti significativi;
- Strade esistenti che non risultino soggette ad interventi ma dove siano avvenuti nel triennio passato almeno cinque incidenti con morti o anche soli feriti e che abbiano visto il coinvolgimento di motoveicoli e ciclomotori.

Viene riportata a seguire il nuovo dispositivo di sicurezza per motociclisti definito dal decreto del 17/05/2019. (Fig.2.12)



Figura 2.12: Dispositivi di sicurezza salvamotociclisti

2.4.3 ATTENUATORI D'URTO

Per gli attenuatori d'urto la normativa EN 1317:2010-3 [13] fornisce dei valori di velocità imposta nel sito da proteggere, riportati nella Tab. 2.3, che saranno da base per la scelta della classe di prestazione.

Tabella B - ATTENUATORI FRONTALI	
Velocità imposta nel sito da proteggere	Classe degli attenuatori
Con velocità $v \geq 130$ km/h	P3
Con velocità $90 \leq v < 130$ km/h	P2
Con velocità $v < 90$ km/h	P1

Tabella 2.3: Classificazione attenuatori

Gli attenuatori d'urto, anche denominati assorbitori, sono sistemi di ritenuta installati in particolari punti della strada, per la presenza di elementi e zone del territorio in grado di causare gravi incidenti [15].

Vengono in genere disposti in prossimità dei seguenti punti;

- zone di inizio barriera in corrispondenza di una cuspide;
- avvio di barriere spartitraffico indipendentemente dal tipo di materiale.
- pali di segnaletica;
- pile, ponti, pali di gallerie, etc. ...

Alcuni attenuatori soddisfano i requisiti dei terminali (requisiti che verranno definiti in seguito) e pertanto potranno avere un ruolo interscambiabile con essi in certe situazioni ad elevato rischio. Altra analogia con le sezioni di estremità delle barriere è data dai requisiti che devono entrambi soddisfare; difatti, così come i terminali anche gli assorbitori dovranno contenere un veicolo lungo lo sviluppo longitudinale della carreggiata. Nel caso in cui questo impatti lateralmente o frontalmente, dovrà arrestare il veicolo in maniera controllata e sicura sottoponendolo a valori di decelerazioni che risultino compatibili con gli occupanti del veicolo. A differenza dei terminali, il principio sul quale ci si basa è quello di scaricare tutte le forze necessarie a contenere ed arrestare il veicolo sulla pavimentazione e non sulle barriere, così da riuscire a sopportare carichi elevati seppure riferiti esclusivamente a veicoli leggeri. Questo perché nel caso di mezzi pesanti l'energia sarebbe troppo elevata per il contenimento.

I dissipatori dovranno avere un comportamento estremamente duttile al fine di garantire ampie deformazioni. Nel capitolo 2.4 verranno esplicitate le modalità di esecuzione delle prove d'urto dinamiche e le normative di riferimento.

Gli attenuatori d'urto possono essere classificati, in funzione al loro comportamento in caso di urto laterale, secondo la norma EN 1317:2010-3 in:

- *redirettivi*: il loro uso sarà preferibile nel caso di urto frontale o angolato essendo in grado di ripristinare la traiettoria del veicolo collidente. Ciò è permesso per la presenza di nastri

e guide longitudinali che conferiscono una certa rigidezza allo spostamento laterale. Viene riportato in Fig.2.10 un esempio di attenuatore redirettivo;

- *non redirettivi*: al contrario degli assorbitori appena descritti questi non hanno la capacità di controllare l'angolo di deviazione del veicolo e quindi non sono idonei al reindirizzamento del mezzo in carreggiata.

Garantiscono una buona dissipazione di energia durante l'urto consentendo quindi al veicolo di arrestarsi in modo graduale. Si riporta in Fig.2.13 e in Fig.2.14 una loro rappresentazione.



Figura 2.13: Attenuatore d'urto redirettivo



Figura 2.14: Attenuatore d'urto non redirettivo

Altra classificazione avviene sulla base del loro meccanismo di funzionamento e porta ad una divisione degli attenuatori d'urto in altre due categorie:

- *Sistemi di tipo cinetico*: sono costituiti da elementi metallici e di plastica collegati tra loro che operano come elementi comprimibili longitudinalmente, in grado di assorbire in modo graduale e senza gravi conseguenze per gli occupanti. La dissipazione di energia avviene, infatti, grazie al lavoro di deformazione dei componenti.
- *Sistemi di tipo inerziale*: sono costituiti in genere da grossi contenitori in materiale plastico o in lamierino non collegati al terreno, ma posti in semplice appoggio così da poter sfruttare il principio di conservazione della quantità di moto. Durante l'urto infatti, l'energia viene trasferita dal veicolo agli assorbitori i quali subiranno uno spostamento che dissiperà energia.

Vengo riportate di seguito, Fig. 2.15, due esempi di attenuatori di tipo cinetico ed inerziale.



Figura 2.15: Attenuatore d'urto di tipo inerziale a sinistra e di tipo cinetico nell'immagine di destra

2.4.4 TERMINALI SPECIALI

Le sezioni di estremità, indipendentemente che sia iniziale o finale, costituiscono un potenziale pericolo poichè non garantiscono le prestazioni delle barriere di sicurezza presenti lungo lo sviluppo longitudinale della carreggiata. In caso di impatto gli effetti che questi elementi strutturali possono generare sono:

- Penetrazione della lama all'interno dell'abitacolo;
- Generare delle deformazioni del veicolo pericolose se non letali per i suoi occupanti.

Per risolvere tali problematiche e ridurre la pericolosità sono state adottate numerose soluzioni a livello europeo che hanno spinto verso la progettazione dei “terminali speciali” [16] (secondo normativa EN1317:2010-4 [17]). Sono sistemi testati con prove d'urto specifiche, ideati per ridurre i pericoli e garantire la continuità con le barriere longitudinali; imponendo in caso di urti laterali le medesime condizioni di riduzione della velocità di marcia del veicolo.

Le prove ai quali saranno sottoposti sono molteplici e realizzate al fine di individuare : gli indici di severità, il comportamento che assumono in caso di collisione e la gravità dei danni riportati sul mezzo a seguito dell'impatto.

Le funzioni dei terminali speciali possono essere riassunte come segue:

- Limitazione di danni recati al veicolo escludendo, per quanto possibile, la lama come potenziale pericolo letale;
- Mantenimento del veicolo in carreggiata;
- Attenuazione della velocità del veicolo senza deformazioni eccessive.

Si differenziano dagli attenuatori d'urto essendo questi adottati per proteggere da urti provenienti da un unico lato.

La loro distinzione avviene sia a seguito di prove d'urto che per una diversa modalità costruttiva.

Per quando concerne quest'ultima i terminali si distingueranno in:

- *Immersi o interrati*: annullano completamente il rischio di penetrazione della lama nell'abitacolo e risultano idonee ad un reindirizzamento lungo la carreggiata, tuttavia per certe traiettorie del veicolo posso portare ad ribaltamento. (Fig.2.16)



Figura 2.16: Terminale speciale immerso

- *Non immersi o non interrati*: possono essere del tipo tradizionale o con attenuatore. Nel caso tradizionale prevedono la protezione della lama con un semplice elemento sagomato a “manina” o a “tubo” progettato in modo tale da evitarne la totale penetrazione della lama nel veicolo. Eliminano il rischio ribaltamento ma non l'infissione della lama. In Fig. 2.17 sono riportati due esempi di terminali non immersi.



Figura 2.17: Esempi di terminali speciali non immersi

Sulla base dei risultati delle prove d'urto e della concezione del sistema di ritenuta, la distinzione avviene nelle seguenti classi:

- *Terminali assorbenti (EAT)*: l'uscita avviene ad una velocità inferiore a quella prefissata;
- *Terminali non assorbenti (NEAT)*: non vengono verificate le condizioni dei terminali assorbenti;
- *Terminali unidirezionali in avvicinamento (UDTA)*: funzionano solo all'inizio della barriera;

- *Terminali unidirezionali in allontanamento (UDTD)*: funzionano esclusivamente alla fine della barriera longitudinale;
- *Terminali bidirezionali (BDT)*: funzionano nelle due direzioni anche nel caso in cui il veicolo provenga dal senso di marcia opposto a quello di installazione del dispositivo.

Così come già esplicitato nel medesimo capitolo, i terminali speciali vengono testati secondo la UNI EN 1317-4 e per la EN1317:2010-7 come richiamato dall'art. 6 del D.M. del 21/06/2004[5]. In questo caso la scelta avverrà tenendo conto delle loro prestazioni, della destinazione ed ubicazione secondo la tabella seguente (Tab.2.4)

Tabella C - TERMINALI SPECIALI TESTATI	
Velocità imposta nel sito da proteggere	Classe degli attenuatori
Con velocità $v \geq 130$ km/h	P3
Con velocità $90 \leq v < 130$ km/h	P2
Con velocità $v < 90$ km/h	P1

Tabella 2.4: Classe terminali speciali secondo EN 1317-3

2.4.5 TRANSIZIONI

L'esistenza di più tipologie e classi di barriere longitudinali sul margine stradale rende necessario garantire la continuità della prestazione di sicurezza, anche in corrispondenza dei tratti in cui si ha il passaggio da un dispositivo ad un altro. Il veicolo può sbandare e sbattere in qualsiasi punto della strada, proprio per questo motivo, che non sono consentiti punti di debolezza lungo le barriere longitudinali.

Da questa problematica nasce la richiesta d'installazione di adeguati dispositivi di transizione [18].

La Normativa UNI EN 1317:2010-4 [17] la definisce come:

“un elemento da interporre tra due barriere di sicurezza aventi diversa sezione trasversale o differente rigidità laterale, affinché sia garantito un contenimento continuo”

Vengono riportate nelle Fig.2.18 e Fig.2.19 [25] delle immagini dei suddetti sistemi di ritenuta¹¹

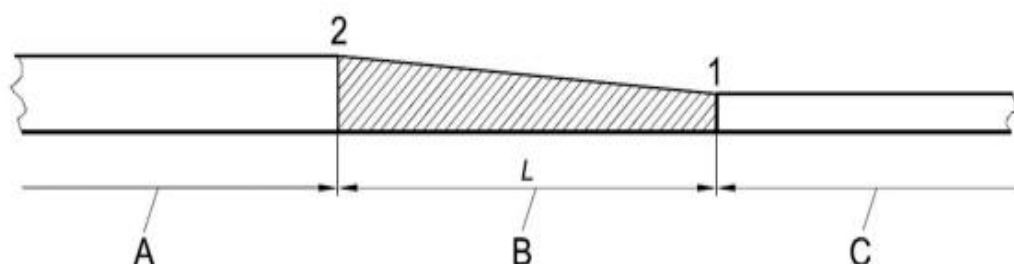


Figura 2.18: Identificazione elementi di una transizione

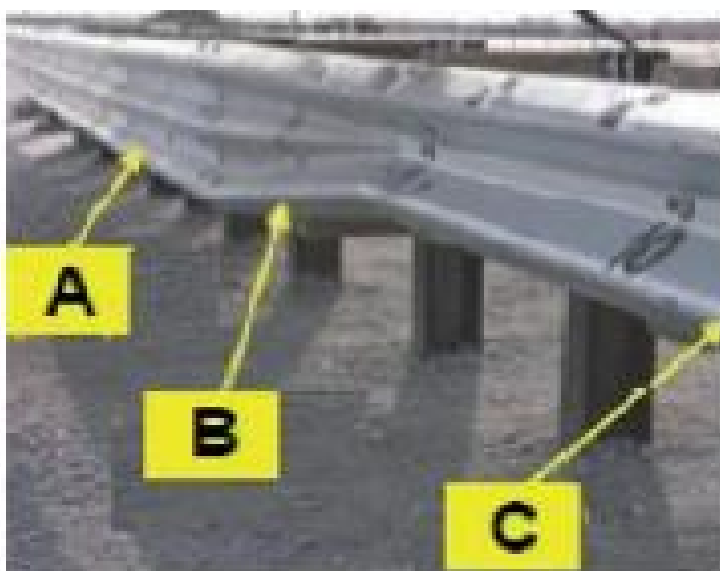


Figura 2.19: vista longitudinale del passaggio graduale tramite “transizioni” di due diverse barriere

L’obiettivo della transizione (B) è quello di fornire una variazione graduale di rigidezza, data dalle diverse sezioni trasversali delle due barriere e di contenimento nel passaggio dalla prima (A) alla seconda barriera (C).

Per quanto concerne la loro progettazione si farà riferimento a quanto espresso nelle prime versioni della normativa europea, secondo cui la classe di contenimento di una transizione non deve essere più bassa della classe di contenimento inferiore, né più elevata della classe superiore delle due barriere collegate. La larghezza operativa non deve essere superiore alla maggiore tra quelle delle barriere connesse, vale quindi, il principio della transizione secondo il quale le prestazioni dell’elemento di passaggio devono essere intermedie tra quelle dei dispositivi connessi e debbono rispondere ai requisiti delle barriere longitudinali continue; rimanendo in vigore il criterio di

¹¹ Fonte:” Quaderni tecnici vo.IV”

contenere i veicoli pesanti e limitare i pericoli per gli occupanti dei veicoli leggeri, in fase di prove reali o simulate. A tal proposito, si riporta quanto prescrive la normativa UNI EN 1317:2010-4 in materia di:

- Classi di prestazione:
“Per le transizioni le definizioni e la classificazione delle classi di contenimento, delle prove di accettazione, della larghezza di lavoro, della flessione dinamica, dell’indice di severità, oltre che dei criteri di accettazione e dei metodi di prova, devono essere quelle indicate nella EN 1317-2”

- Requisiti d’urto critici:
“Per l’accettazione ogni transizione deve superare due prove come indicato nella EN 1317-2, una con un veicolo leggero per la determinazione della severità degli urti e un’altra con un veicolo pesante per il contenimento massimo”

- Direzione critica dell’urto
“La direzione più critica dell’urto va dalla barriera più morbida a quella più rigida, la direzione dell’urto deve andare dalla barriera di contenimento inferiore verso la barriera di contenimento superiore, purché quest’ultima abbia dimostrato la minore deflessione dinamica durante la prova di contenimento elevato. La direzione d’urto per ogni prova deve essere scelta dal laboratorio che ha eseguito la prova e nel rapporto di prova si devono giustificare tali scelte.”

- Punto critico d’urto
“In generale, il punto d’urto per il veicolo leggero deve trovarsi a una distanza di $\frac{3}{4}$ della lunghezza L della transizione misurata a partire dall’inizio della transizione, nella direzione dell’urto”

Si riassume dicendo che le Transizioni sono dispositivi con caratteristiche intermedie delle barriere che collegano, sono soggetti a prove d’urto, omologazione e marcature CE.

Occorre osservare come le Normative forniscano indicazioni sulle caratteristiche prestazionali delle transizioni e non sulle modalità di realizzazione, che invece sono indicate direttamente dai Produttori nella fase di progetto. Il risultato è quello di poter avere delle transizioni approntate in maniera non corretta divenendo pericolose in caso di incidente.

In generale le transizioni, in quanto elementi di collegamento tra barriere di tipo e classe diversa, devono rispondere a specifici requisiti di carattere geometrico e funzionale. Facendo riferimento all’estensione longitudinale delle transizioni, nel caso di barriere di classe diversa, la lunghezza è definita come 12,5 volte la differenza tra la deflessione dinamica della barriera di classe inferiore e la deflessione dinamica della barriera di classe superiore, preventivamente convertita in una

“deflessione equivalente” della classe inferiore tramite coefficiente di riduzione opportunamente tabulato e i cui valori vengono riportati in Tab.2.5.

Barriere di classe superiore	Barriere di classe inferiore	Fattore di riduzione della Def. Dinamica della barriera di classe superiore
H4	H3	0,9
H4	H2	0,45
H3	H2	0,5
H3	H1	0,45
H2	H1	0,9
H2	N2	0,72
H1	N2	0,8
H1	N1	0,64
N2	N1	0,8

Tabella 2.5: Tabella contenente i fattori di riduzione della deformazione dinamica

2.4.6 CHIUSURE VARCHI

La presenza di barriere stradali longitudinali nello spartitraffico tra due carreggiate implica che non sia impossibile il passaggio dall’una all’altra carreggiata. Per far fronte alle situazioni di emergenza quali: cantieri, grossi incidenti ,etc. e per tutti quei casi in cui è richiesto il transito, anche solo temporaneo, da una parte all’altra della barriera è necessario in alcuni punti prestabiliti l’installazione di sezioni di barriere rimovibili anche note come “chiusure varchi” [19]. Le aperture sono indispensabili davanti alle gallerie come uscite di emergenza o per attività di manutenzione, permettendo l’accesso alla zona di lavoro. Secondo normativa esistono due tipologie di sistemi che vengono adottate nelle diverse occasioni:

- *Barriere amovibili con attrezzature di sollevamento.*

Con la sua forma a gradini essa fornisce il collegamento ideale alle barriere in cemento e ai guardrails in acciaio. Per permettere facilmente tali connessioni sono disponibili elementi modulari standard ma con lunghezze variabili;

- *Barriere modulari ad apertura rapida.*

Apribili senza l’ausilio di attrezzature, anche da personale non esperto, per consentire il passaggio di mezzi di soccorso.

Viene riportato un esempio di varco in condizioni aperte in Fig.2.20 e nella figura seguente (Fig.2.21) in condizioni chiuse.



Figura 2.20: Rappresentazione varco aperto



Figura 2.21: Rappresentazione varco chiuso

Queste tipologie di barriere dovranno avere un agevole e rapida apertura, con una lunghezza tale da consentire un graduale cambio di carreggiata per permettere a mezzi ingombranti anche il transito a velocità sostenute. Lo spazio lasciato dall'apertura deve risultare privo di ostacoli e pavimentato come il resto della piattaforma stradale, nella maggior parte dei casi è di 44 m come lunghezza standard, salvo casi particolari nei quali tale estensione può essere anche superiore ai 70 m.

Sono testate ai sensi della norma EN 1317:2010-2 e 4 che prevede diverse prove d'urto in base alla lunghezza del dispositivo (minore di 40 m, compresa tra 40 e 70 m, oltre 70 m).

Ai sensi dell'art. 6 del DM 21/06/2004 [5] si afferma che:

“Le barriere per i varchi apribili dovranno essere testate secondo quanto precisato nella norma ENV 1317:2010-4 e possono avere classe di contenimento inferiore a quella della barriera a cui sono applicati, per non più di due livelli.”

Riassumendo si ha quindi che il carattere di amovibilità e la presenza di transizioni rendono difficile la progettazione di sistemi di chiusura di elevato contenimento, cosicché spesso vi è differenza di classe tra elemento di chiusura e barriera continua.

2.5 PROVE DINAMICHE E OMOLOGAZIONE DELLE BARRIERE LONGITUDINALI

2.5.1 PREMESSA

Il Ministero dei lavori pubblici, con tale Decreto Ministeriale del 18 Febbraio 1992, emana il “Regolamento recante istruzioni tecniche per la progettazione, l’omologazione e l’impiego”, regolamentando per la prima volta i sistemi di contenimento dei veicoli su strada, fino ad allora priva di una disciplina sistematica.

Con il citato D.M. n° 223 del 18/02/1992 [5] viene introdotto il principio secondo il quale un dispositivo di ritenuta stradale può essere utilizzato solo se preventivamente omologato; dovrà quindi aver conseguito il certificato di idoneità tecnica. Tale certificato verrà rilasciato dall’ispettorato generale per la sicurezza e circolazione stradale del Ministero dei lavori pubblici a seguito del superamento di prove in scala reale, note col nome di “crash test”, che dovranno essere eseguite esclusivamente in centri autorizzati, con macchinari adeguati per il reperimento di tutti i parametri fondamentali per la classificazione di tali sistemi.

I sistemi di ritenuta stradale classificati idonei furono inseriti in un catalogo contenente caratteristiche e indicazioni di impiego di ogni barriera; la sua redazione e il suo aggiornamento sono affidati all’ispettorato sopra citato.

Il regolamento venne successivamente integrato ed aggiornato con diversi Decreti Ministeriali emanati negli anni seguenti (D.M. del 15/10/1996; D.M. 03/06/1998 e il D.M. 11/06/1999).

Con il Decreto Ministeriale 21/06/2004 n.2367 [13] venne introdotta una integrazione alla norma già in vigore, la quale prevedeva un aggiornamento delle precedenti istruzioni tecniche e il recepimento ufficiale delle norme UNI EN 1317:2010 (nelle parti 1, 2, 3, 4), nella quale venivano introdotti nuovi parametri per la classificazione degli impianti e delle prestazioni.

Particolare attenzione viene data all’ articolo 4 il quale descrive i seguenti indici:

- Indice di severità dell’accelerazione A.S.I. ;
- Indice di velocità teorica della testa T.H.I.V.;
- Indice di decelerazione della testa dopo l’impatto P.H.D..

Nel medesimo anno venne emanata la Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti che ribadì l’importazione di adeguati sistemi di ritenuta stradali, affermando:

“Il ripetersi di incidenti stradali le cui conseguenze sono rese ancor più gravi a causa della mancanza o dell’inadeguatezza di sistemi di ritenuta impone di richiamare l’attenzione di tutti gli enti proprietari e gestori di strade sulla puntuale e corretta applicazione del suddetto decreto (2004) oltreché sui compiti demandati agli stessi enti dall’art. 14 del nuovo Codice della Strada”.

In fase di stesura degli elaborati, in conformità col D.M. del 2004, il progettista deve porre attenzione ai seguenti fattori:

- Ubicazione della progettazione: come descritto nel 2.1 del seguente documento, vi sono barriere opportunamente omologate e progettate per le diverse locazioni lungo il piano stradale;
- Definizione delle classi di contenimento: verrà trattato ampiamente nel capitolo 2.5.2 in quanto ripreso anche dalla normativa UNI EN 1317:2010-2 ;
- Definizione del materiale: così come descritto nel capitolo 2.2.;
- Definizione delle modalità di installazione;
- Definizione dei requisiti prestazionali;
- Scelta dei dispositivi accessori (esempio: segnaletica).

Tra le altre normative che seguirono quella del 2004 di particolare interesse è quella emanata nel 2010 (Circolare n° 62032 del 21/7/2010 [9]). Gli aspetti trattati riguardarono alcuni ambiti inerenti al campo di applicazione del Decreto Ministeriale del 1992; a seguito di questa trattazione venne redatto il “Manuale per l’utilizzo e l’installazione del prodotto”. Nell’ art. 5 (“Conformità dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali e loro installazione”) del D.M.2004 vengono esplicitate le modalità con le quali il prodotto potrà essere dichiarato idoneo per l’ottenimento della marcatura CE. Segue l’ estratto di nostro interesse dell’articolato:

“All'atto dell'impiego dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali, le caratteristiche costitutive dei materiali impiegati dovranno essere certificate mediante prove di laboratorio. Dovranno inoltre essere allegate le corrispondenti dichiarazioni di conformità dei produttori alle relative specifiche tecniche di prodotto. Le barriere e gli altri dispositivi di ritenuta omologati ed installati su strada dovranno essere identificati attraverso opportuno contrassegno, da apporre sulla barriera (almeno uno ogni 100 metri di installazione) o sul dispositivo, e riportante la denominazione della barriera o del dispositivo omologato, il numero di omologazione ed il nome del produttore. Una volta conseguita l'armonizzazione della norma EN 1317 e divenuta obbligatoria la marcatura CE, le informazioni da apporre sul contrassegno saranno quelle previste nella stessa norma EN 1317, parte 5.”

In fase di installazione sono tollerate piccole variazioni rispetto a quanto indicato nei certificati di omologazione, conseguenti alla natura del terreno di supporto o alla morfologia della strada, ad esempio:

- infissione ridotta di qualche paletto o tirafondo;
- inserimento di parte dei paletti in conglomerati cementizi di canalette;
- eliminazione di supporti localizzati conseguente alla coincidente presenza di caditoie per l'acqua o simili.

Altre variazioni di maggior entità e comunque limitate esclusivamente alle modalità di ancoraggio del dispositivo di supporto sono possibili solo se previste in progetto.

Alla fine della posa in opera dei dispositivi, dovrà essere effettuata una verifica che certifichi la corretta messa in opera.

2.5.2 PROVE D'URTO

In accordo con le norme italiane ed europee che richiedono la marcatura CE rilasciata da un Organismo Notificato, i dispositivi dovranno essere sottoposti ad una serie di crash test; tuttavia, la complessità delle operazioni di prova e di acquisizione e analisi dei dati, rendono le prove d'urto per sistemi di ritenuta un passaggio di verifica non semplice [20].

Ciò che spinse alla necessità di effettuare le prove d'urto fu l'esigenza di limitare le incertezze sul comportamento del sistema quando impattato dal veicolo. Si adotta appositamente il verbo limitare e non estinguere, perché risulta improponibile condurre tante prove quante sono le combinazioni di situazioni che possono portare a conseguenze gravi per il veicolo e i suoi occupanti. Si accetta quindi che vi sia la possibilità di eventi che superino le condizioni previste in fase di collaudo e le ripercussioni che queste porteranno.

In sintesi, le prove di crash test sono necessarie per verificare i requisiti fondamentali di un dispositivo di ritenuta stradale quali: capacità di contenimento del veicolo di progetto, il corretto rinvio del veicolo sulla carreggiata in seguito all'urto e la minimizzazione dei rischi di lesioni per gli occupanti dei mezzi leggeri attraverso la limitazione delle decelerazioni così come dichiarato dai Quaderni Tecnici Vol. V1 [21].

Secondo quanto riportato dalla normativa EN1317:2010-2 [17] la progettazione delle barriere avverrà in modo da garantire che tutti gli elementi longitudinali riescano a contenere il veicolo senza presentare rotture fragili. Nessun elemento della barriera di sicurezza, incluso il parapetto veicolare, dovrà penetrare nell'abitacolo del veicolo e non saranno consentite deformazioni o intrusioni nell'abitacolo che comportino lesioni gravi ai viaggiatori.

Il comportamento strutturale delle barriere sottoposte alle prove d'urto è schematizzabile secondo due fasi consecutive:

- nella prima fase, l'energia cinetica posseduta dal veicolo viene parzialmente dissipata nella deformazione del dispositivo, mentre un'altra aliquota viene accumulata elasticamente;
- nella seconda fase, la quota-parte di energia elastica precedentemente accumulata è rilasciata durante le fasi di distacco del veicolo dalla barriera, viene rediretto verso l'interno della carreggiata o tramite arresto del mezzo.

Prima di procedere con i diversi crash test si effettuerà la realizzazione delle barriere come previsto dal produttore, considerando in maniera scrupolosa sia la lunghezza delle barriere longitudinali, sia le caratteristiche del terreno di infissione con i diversi dispositivi di vincolo che possono essere adottati. Per quanto concerne la lunghezza dei dispositivi che si intendono testare

bisogna valutare che, sarà più difficile rispettare i livelli di prestazione minima quanto maggiore è l'estensione in direzione longitudinale.

Terreno e paletti infissi si comportano come un unico elemento, pertanto, un buon terreno resistente e compatto, garantisce la formazione della cerniera plastica all'altezza prevista dal progettista e assicura il buon funzionamento della barriera stessa.

È rilevante far notare quanto risulti difficile, se non impossibile, riuscire a replicare durante le prove lo stesso terreno che sarà presente nel luogo reale di installazione a causa della: scarsa compattazione del terreno tra i suoi diversi strati, dello strato di humus che in genere ricopre i primi 15 cm del rilevato e della possibile presenza di corrosione.

Numerosi sono stati gli studi eseguiti per cercare di modulare il comportamento dei dispositivi in funzione al sito. Attualmente una nuova metodologia trova il suo fondamento nel principio del confronto, tra il comportamento di un montante durante un urto dinamico in campo prove e la reazione ottenuta nella sua reale configurazione su strada.

I risultati ottenuti, riportati nel grafico rappresentato in Fig.2.22, sono ricavati a seguito di questa analisi di calcolo svolta da AISICO [22].

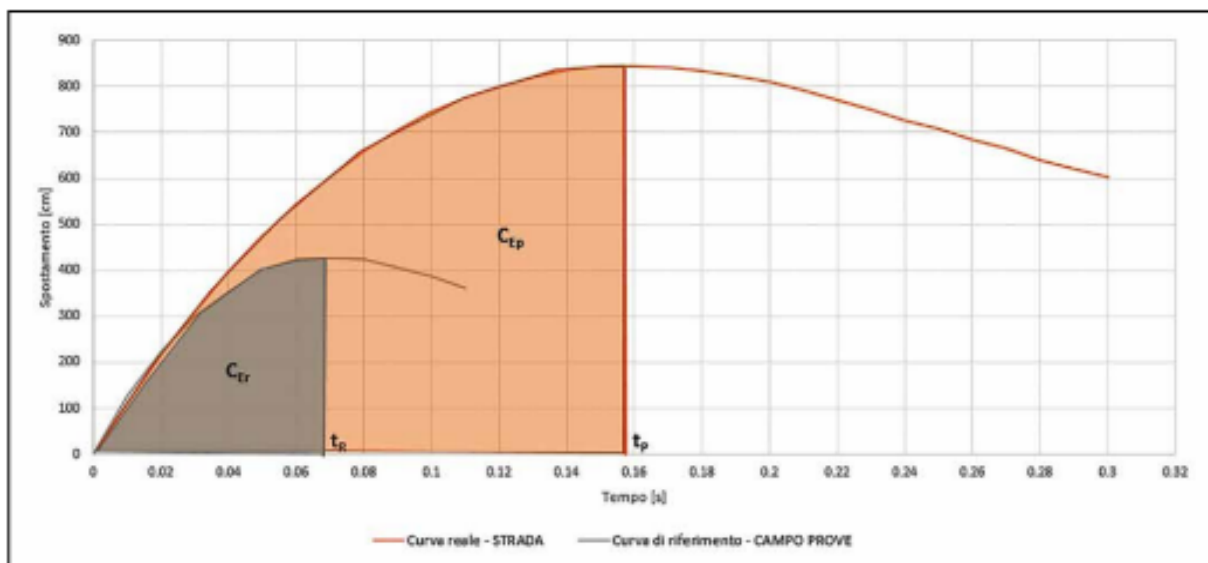


Figura 2.22: Grafico spostamento-tempo di una prova dinamica reale con in arancione la prova effettuata in sito e in grigio quella effettuata presso il Campo Prove (AISICO)

In Europa, a differenza di quanto accade in America, i veicoli non sono identificabili in modo univoco ma occorre conoscere con esattezza massa e posizione del baricentro del sistema. L'uso dei manichini, anch'essi omologati, è consentito qualora questi siano in grado di riprodurre con un certo grado di affidabilità, il comportamento fisico-meccanico del corpo umano. Durante tutta la durata della prova si realizzano registrazioni video e segnali provenienti da sensori installati a

bordo dei veicoli e sul manichino. Procedendo con lo studio di ogni conseguenza negativa che potrà riversarsi, in caso di incidente, sul conducente e più in generale su terzi.

In relazione alle condizioni generali di realizzazione della prova e ai dati registrati, è possibile definire i parametri fondamentali per l'effettiva classificazione dei sistemi di ritenuta stradali.

Tra le diverse classificazione vi sono:

1. *Classi di contenimento:*

Definite dalla norma UNI EN1317:2010- 2.

Il livello di contenimento definisce l'energia trasferita dal veicolo durante l'impatto, rappresentato in Fig.2.23, è ottenuto dalla relazione seguente¹² (eq.1):

$$L_c = \frac{1}{2} M (V \sin \vartheta)^2$$

Equazione 1: calcolo livello di contenimento

Dove:

- L_c = livello di contenimento [kJ]
- M = massa del veicolo [t]
- v = velocità d'impatto [m/s]
- θ = angolo d'impatto

Il livello di contenimento viene definito attraverso prove di crash test e classificate secondo normativa. Si riporta in Tab.2.6 [23] la classificazione delle barriere in relazione ai diversi L_c differenziati in relazione ad un angolo di contenimento basso adottato per barriere temporanee (livelli T1, T2 e T3), normale (livelli N1 e N2), più elevato (livelli H1, L1, H2, L2, H3 e L3) e molto elevato (livelli H4a, H4b, L4a, L4b).

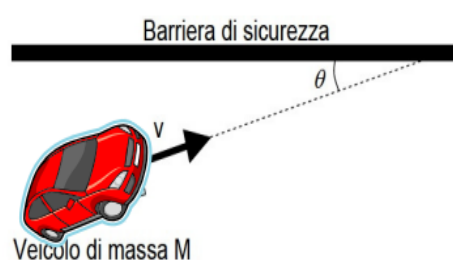


Figura 2.23: Rappresentazione di impatto per calcolo di L_c

Livelli di contenimento				Prova di accettazione
Contenimento con angolo basso	T1			TB 21
	T2			TB 22
	T3			TB 41 e TB 21
Contenimento normale	N1			TB 31
	N2			TB 32 e TB 11
Contenimento più elevato	H1			TB 42 e TB 11
	L1			TB 42, TB 32 e TB 11
	H2			TB 51 e TB 11
	L2			TB 51, TB 32 e TB 11
	H3			TB 61 e TB 11
	L3			TB 61, TB 32 e TB 11
Contenimento molto elevato	H4a H4b			TB 71 e TB 11 TB 81 e TB 11
	L4a L4b			TB 71, TB 32 e TB 11 TB 81, TB 32 e TB 11

¹² Rappresentazione grafica estratta da: "Costruzione di Strade, ferrovie ed Aeroporti 1", Ing. Francesca Maltinti

Segue in seguito la descrizione delle prove d'urto secondo quanto definito dalla normativa UNI EN 1317:2010-2 (Tab.2.7)

Prova	Velocità d'urto km/h	Angolo d'urto gradi	Massa totale kg	Tipo di veicolo
TB 11	100	20	900	Automobile
TB 21	80	8	1 300	Automobile
TB 22	80	15	1 300	Automobile
TB 31	80	20	1 500	Automobile
TB 32	110	20	1 500	Automobile
TB 41	70	8	10 000	Autocarro rigido
TB 42	70	15	10 000	Autocarro rigido
TB 51	70	20	13 000	Autobus
TB 61	80	20	16 000	Autocarro rigido
TB 71	65	20	30 000	Autocarro rigido
TB 81	65	20	38 000	Autocarro articolato

La classe degli attenuatori è definita in base alle prove d'urto normate dalla UNI EN1317- 3.

La classe degli terminali è definita in base alle prove d'urto normate dalla UNI EN1317- 4:

Tabella 2.7: Descrizione caratteristiche dei diversi livelli di contenimento

2. Indice di Severità:

In Italia la normativa in relazione al valore dell'Indice di Severità d'impatto classifica le barriere stradali in sei classi progettuali (A1, A2, A3, B1, B2, B3), riportate in Fig. 2.24¹³ [24], per ciascuna di esse vengono eseguite almeno due prove con veicoli leggeri in condizioni tali da determinare un indice non inferiore a quello medio della classe per la quale si richiede l'omologazione della barriera .

CLASSE	Is min. (KNm)	N° prove e tipo veicolo
A 1	40	almeno due con veicolo leggero
A 2	80	
A 3	130	
B 1	250	almeno due con veicolo pesante ed almeno uno con veicolo leggero
B 2	450	
B 3	600	

Figura 2.24: Classi di Severità di Impatto

Il parametro è definito al fine di limitare le lesione agli occupanti dei veicoli coinvolti nell'impatto. I diversi indici di severità, ASI, HIC, VCDI e THIV, descritti nei Quaderni Tecnici Vol.VI, forniscono una misura probabilistica del rischio e sono utilizzati

¹³ Fonte: Proposta di integrazione normativa per la classificazione, caratterizzazione e scelta delle barriere di sicurezza stradali a partire da un confronto normativo internazionale (researchgate.net)

principalmente per confrontare tra loro i diversi prodotti per l'installazione [25]. In approssimazione si può affermare che questi rappresentino quantitativamente il concetto di cedevolezza e plasticità della barriera.

Tra gli indici di severità quello di maggior rilievo è l'*indice ASI (Acceleration Severity Index)*, il quale fornisce una valutazione sulle accelerazioni a cui sono soggetti gli occupanti del veicolo. La sua determinazione avviene tramite formula, sottoriportata in eq.2, che mostra come questo sia una funzione del tempo, calcolata come media quadratica delle componenti di accelerazione:

$$ASI = \max[ASI(t)] = \max \left\{ \sqrt{\left(\frac{\bar{a}_x(t)}{12g}\right)^2 + \left(\frac{\bar{a}_y(t)}{9g}\right)^2 + \left(\frac{\bar{a}_z(t)}{10g}\right)^2} \right\}$$

Equazione 2: Calcolo indice ASI (Acceleration Severity Index)

Si indica con g l'accelerazione di gravità (pari a $9,81 \text{ m/s}^2$) e con $\bar{a}_x(t)$, $\bar{a}_y(t)$, $\bar{a}_z(t)$ le tre componenti di accelerazione del veicolo, variabili nel tempo e determinate su un intervallo mobile di 50 ms. I valori presenti a denominatore rappresentano le corrispondenti accelerazioni limite nelle varie direzioni principali, sono interpretate come i valori al di sotto dei quali il rischio, per i passeggeri che indossano le cinture di sicurezza, è molto basso (massimo rischio lesioni lievi). L'ASI è definito come una quantità adimensionale funzione scalare del tempo, in generale, del punto del veicolo selezionato che ha solo valori positivi. Quanto più l'ASI supera l'unità, tanto più il rischio per l'occupante in quel punto supera i valori di sicurezza; pertanto il valore massimo raggiunto dall'ASI in una collisione viene assunto come singola misura della severità, oppure, tramite eq. 3:

$$ASI = \max. [ASI(t)]$$

Equazione 3: Calcolo di ASI_{MAX}

I limiti richiesti dalle norme ai fini di sicurezza sono [24]:

- $ASI_{max} \leq 1,00$ per le barriere di bordo laterale;
- $ASI_{max} \leq 1,40$ per le barriere da spartitraffico e da ponte.

Il *THIV (Teoretical Head Impact Velocity)* [21] definisce la velocità teorica con cui la testa impatta su una generica superficie interna del veicolo alla fine del tempo di volo. Per la sua valutazione si utilizza un modello nel quale la testa dell'occupante del veicolo si muove liberamente all'interno dell'abitacolo, con un moto continuo fino all'urto del capo contro l'ipotetica superficie interna. In tale istante si valuterà la velocità di impatto che consentirà il calcolo dell'indice THIV con seguente formulazione (eq.4):

$$THIV(t) = \sqrt{v_x^2(T) + v_y^2(T)}$$

Equazione 4: Calcolo indice THIV (Teoretical Head Impact Velocity)

Nel calcolo del Teoretical Head Impact Velocity, $v_x(t)$ e $v_y(t)$ sono le velocità (km/h) relative del corpo rispetto al veicolo riferite agli assi x e y.

Questi indici servono a valutare i rischi che gli occupanti del veicolo possano subire, data la limitata resistenza del corpo umano nei confronti delle violente accelerazioni. Si ha infatti che le accelerazioni e decelerazioni provochino un movimento relativo tra veicolo e occupanti in conseguenza del quale si verificano colpi in varie parti del corpo, soprattutto la testa, con conseguenti lesioni, a volte anche mortali.

Si riporta nella Tab.2.8 [23] i tre livelli di severità d'urto¹⁴.

Livello di severità dell'urto	Valori degli indici		
A	ASI ≤ 1,0	e	THIV ≤ 33 km/h
B	ASI ≤ 1,4		
C	ASI ≤ 1,9		

Tabella 2.8: livelli di severità con annessi valori degli indici ASI e THIV

Un aspetto importante per la salvaguardia degli occupanti dell'autovettura è dipendente dalla deformazione di quest'ultima a seguito dell'urto. L'indice che descrive la deformazione dell'interno del veicolo è il *VCDI (Vehicle Cockpit Deformation Index)* [23] ed è determinato esclusivamente per le automobili. L'indice è dato da una sigla composta da 2 lettere, che indica l'ubicazione della deformazione secondo lo schema riportato nella Tab. 2.9 e in Fig.2.25 e 7 numeri che indicano la percentuale di riduzione di sette dimensioni interne rappresentate che servono per indicare l'estensione delle deformazioni dell'abitacolo relative alla localizzazione indicata(Fig.2.26).

¹⁴ Fonte: "Costruzione di Strade, ferrovie ed Aeroporti 1" ing. Francesca Maltinti

Parte dell'abitacolo interessata dalla deformazione	Primi due caratteri XX dell'indice V.C.D.I.
L'intero abitacolo	AS
Anteriore	FS
Posteriore	BS
Destra	RS
Sinistra	LS
Anteriore Destra	RF
Anteriore Sinistra	LF
Posteriore Destra	RR
Posteriore Sinistra	LR

Tabella 2.9: Localizzazione delle deformazioni dell'abitacolo

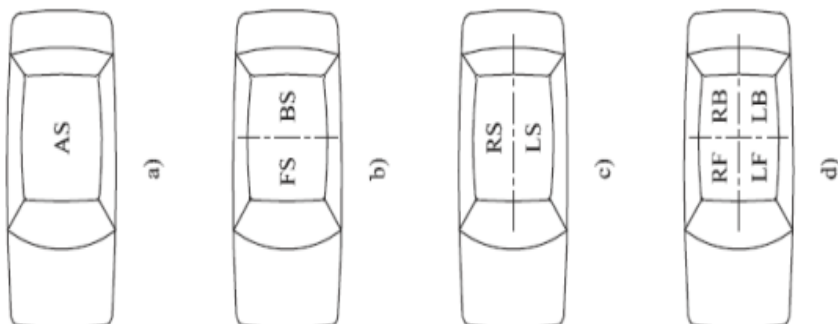


Figura 2.25: Rappresentazione delle prime lettere dell'Indice

La dicitura si presenta come segue (Fig.2.26):

XXabcdef

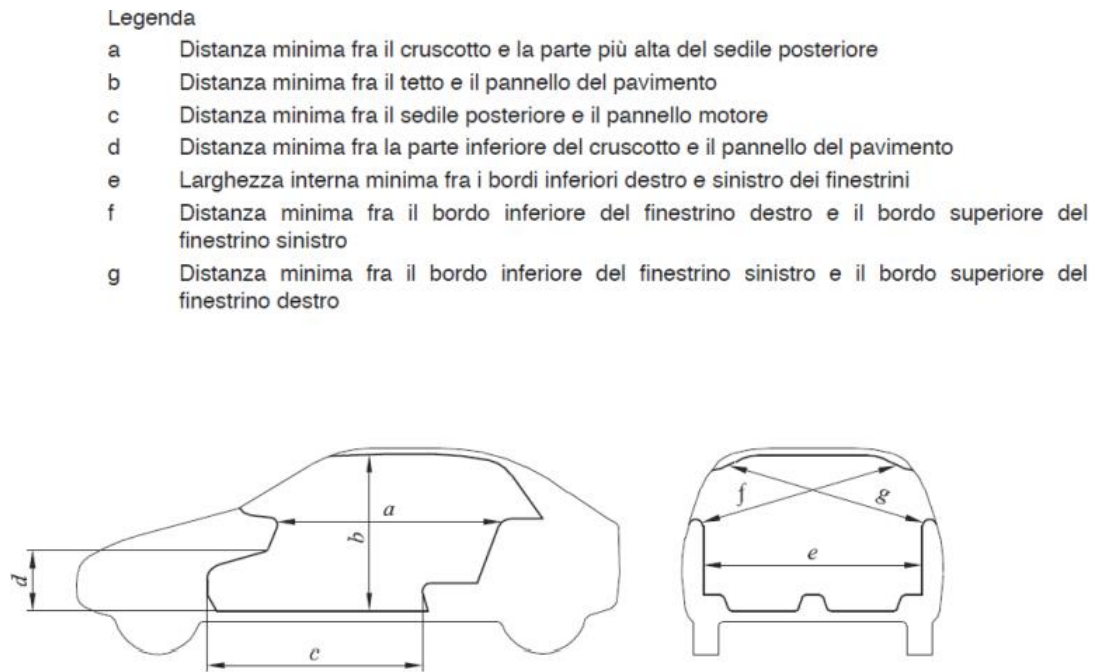


Figura 2.26: Rappresentazione a sinistra del significato delle prime due lettere *d* e *a* a destra dei sette valori per ogni distanza interna con annessa leggenda.

Per il controllo delle deformazioni dell'abitacolo del veicolo la normativa statunitense considera invece l'Indice di Deformazione del Comparto Passeggeri O.C.D.I. (Occupant Compartment Deformation Index) ed è l'equivalente dell'indice V.C.D.I. introdotto dalla normativa europea, salvo che per gli indici numerici riportati in Tab 2.10

Valore numerico	Riduzione [%]
0	Riduzione $\leq 3\%$
1	$3\% < \text{Riduzione} \leq 10\%$
2	$10\% < \text{Riduzione} \leq 20\%$
3	Riduzione $\geq 20\%$ o se non è possibile misurarla

Tabella 2.10: Valori numerici con relativi indici di Riduzione

Quando la prova d'urto si basa sul valutare le conseguenze negative che questo può riversare sul conducente, spesso per testare la sicurezza dei motociclisti, si richiede l'uso del manichino e si determinano dei parametri basati direttamente sulle lesioni che subisce

il modello e non più le ripercussioni dell'urto sul veicolo. Uno degli indici probabilistici più utilizzato è l'*HIC (Head Injury Criterion)* la cui determinazione viene riportata in eq. 5.

$$HIC = \max \left\{ (t_2 - t_1) \cdot \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{2.5} \right\}$$

Equazione 5: Equazione per il calcolo dell'Head Injury Criterion

dove $a(t)$ è l'accelerazione lineare risultante della testa del manichino che simula il conducente durante l'impatto, t_1 e t_2 sono gli estremi dell'intervallo di tempo (36÷15 ms) all'interno del quale il valore di HIC è massimo durante l'evento di impatto diretto della testa del manichino. Osservazioni sperimentali hanno definito un valore limite pari a 1000 per il quale si ha un rischio di fatalità pari al 2,1%.

2.5.3 DEFLESSIONE DELLE BARRIERE

Ricordando nuovamente il fine delle barriere stradali, ovvero quello di realizzare il contenimento dei veicoli nella sede stradale riducendo al minimo i danni per gli occupanti del veicolo. Per ottenere queste finalità, è necessario che l'urto con la barriera non provochi il rovesciamento del veicolo e che non gli imprima una decelerazione tale da provocare danni ai viaggiatori.

In linea generale l'urto autoveicolo-barriera può essere differenziato in due fasi:

- *I fase*: l'autoveicolo entra in contatto con la barriera urtandola con un angolo θ , detto angolo d'impatto, con una velocità d'impatto " v ". La barriera e la carrozzeria del veicolo si deformano contemporaneamente sia localmente che nelle zone limitrofe al punto di impatto per compatibilità di deformazione. Gli effetti degli spostamenti rigidi, che possono interessare anche più elementi di barriera, trasformano il moto del veicolo da rettilineo ad un modo rotatorio intorno al punto d'impatto. Alla fine del movimento di rotazione il veicolo si dispone parallelamente alla barriera. A questo punto la componente della velocità normale all'asse della barriera diminuisce fino ad annullarsi. Per quanto concerne la deformazione dell'autoveicolo e della barriera queste aumenteranno fino ai valori massimi;
- *II fase*: la barriera deformata restituisce una parte dell'energia immagazzinata, provocando all'autoveicolo una serie di reazioni che possono ricondurlo verso l'interno della carreggiata con angoli di rinvio variabili correlati alla velocità del mezzo e al suo angolo al momento dell'impatto. Il veicolo quindi si allontana dalla barriera con una velocità trasversale opposta rispetto a quella descritta nella prima fase, funzione dall'eventuale restituzione di deformazione da parte della barriera.

Questa schematizzazione, essendo di tipo semplificativo, riduce al minimo i parametri da analizzare e al contempo risulta efficace per individuare la resistenza della barriera alle azioni più critiche di esercizio. Viene riportata nella fig.2.27 [26] una rappresentazione schematica delle varie fasi d'urto.¹⁵

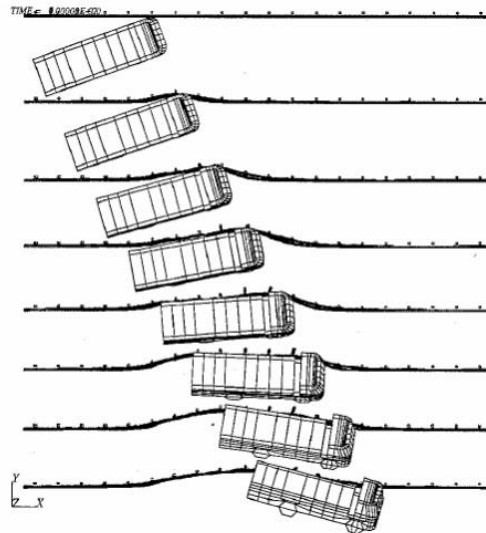


Figura 2.27: Fasi d'urto di un veicolo su un guardrail rettilineo

I risultati delle prove di crash test forniscono parametri utili alla descrizione delle geometrie di deformazione dei diversi sistemi di ritenuta stradale. Per quanto concerne l'analisi delle deformazioni trasversali di tali sistemi, sarà necessario esplicitare nuovi parametri che consentano di definire le distanze da mantenere davanti agli ostacoli, per permettere ai sistemi di deformarsi in modo opportuno e quindi, di fornire adeguate prestazioni [21]. Essi sono:

- *Deflessione dinamica (D_m)*: definisce il massimo spostamento dinamico trasversale del frontale del sistema di contenimento;
- *Larghezza operativa o di lavoro (L_m)*: distanza laterale massima fra il lato rivolto verso il traffico prima dell'urto della barriera di sicurezza e la massima posizione laterale dinamica di una qualunque parte della barriera. La Norma EN 1317:2010-2 fa una classificazione dei valori normalizzati delle larghezze operative, riportata in Fig.2.28.

¹⁵ Fonte: "COSTRUZIONI DI INFRASTRUTTURE PER I TRASPORTI 1", Dott. Ing. A. Brencich ripreso da Setra

Classi di livelli di larghezza operativa normalizzata	Livelli di larghezza operativa normalizzata m
W1	$W_N \leq 0,6$
W2	$W_N \leq 0,8$
W3	$W_N \leq 1,0$
W4	$W_N \leq 1,3$
W5	$W_N \leq 1,7$
W6	$W_N \leq 2,1$
W7	$W_N \leq 2,5$
W8	$W_N \leq 3,5$

Nota 1 In casi specifici è possibile specificare una classe di livello di larghezza operativa minore di W1.

Nota 2 La deflessione dinamica, la larghezza operativa e l'intrusione del veicolo permettono di determinare le condizioni per l'installazione di ogni barriera di sicurezza, nonché di definire le distanze da creare davanti agli ostacoli per permettere al sistema di fornire prestazioni soddisfacenti.

Nota 3 La deformazione dipende sia dal tipo di sistema che dalle caratteristiche della prova d'urto.

Figura 2.28: Classificazione secondo norma EN1317:2010-2 dei livelli di larghezza

- *Intrusione del veicolo (VI_m)*: posizione laterale dinamica massima del veicolo misurata a partire dal lato della barriera non deformato rivolto verso il traffico. Si fa una distinzione tra intrusione del veicolo nel caso in cui sia un autocarro (altezza di 4 m dal piano stradale assumendo che questo rimanga indeformato durante l'impatto) o nel caso in cui sia un autobus, mezzo utilizzato per l'esecuzione delle prove. La norma EN 1317-2 fornisce i valori normalizzati sia delle classi di intrusione del veicolo (Fig. 2.29).

Classi di livelli di intrusione del veicolo normalizzate	Livelli di intrusione del veicolo normalizzati m
V1	$VI_N \leq 0,6$
V2	$VI_N \leq 0,8$
V3	$VI_N \leq 1,0$
V4	$VI_N \leq 1,3$
V5	$VI_N \leq 1,7$
V6	$VI_N \leq 2,1$
V7	$VI_N \leq 2,5$
V8	$VI_N \leq 3,5$
V9	$VI_N > 3,5$

Nota 1 In casi specifici è possibile specificare una classe di livello di intrusione del veicolo minore di V1.

Nota 2 La deflessione dinamica, la larghezza operativa e l'intrusione del veicolo permettono di determinare le condizioni per l'installazione di ciascuna barriera di sicurezza, nonché di definire le distanze da creare davanti agli ostacoli.

Figura 2.29: Classificazione secondo norma EN1317:2010-2 dei livelli di intrusione

Viene riportata nella Fig. 2.30 una rappresentazione grafica delle distanze sopradescritte.¹⁶

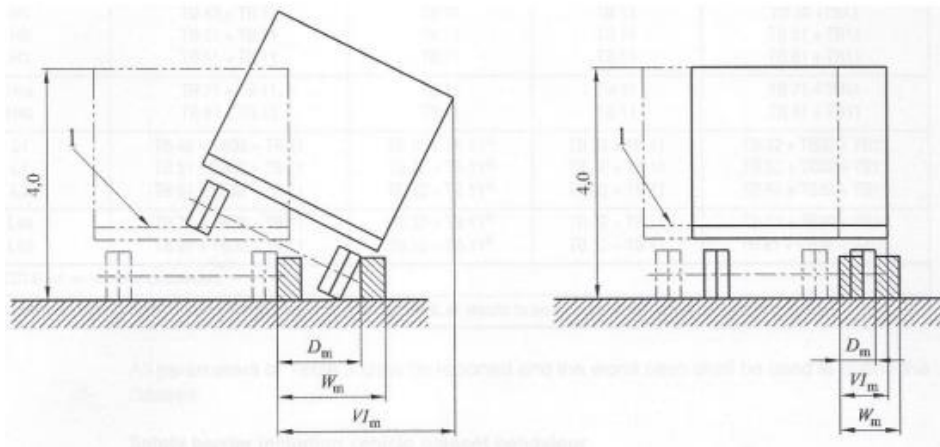


Figura 2.30: rappresentazione parametri di deformazione trasversale.

Una volta determinati, consentiranno l'individuazione delle condizioni progettuali per l'installazione. Bisogna ricordare che, oltre al parametro di deflessione dinamica (D_m), vi è un ulteriore parametro non riconosciuto dalla normativa EN ma espressamente richiesto dal Ministero di Infrastrutture e Trasporti. È il parametro di *Deflessione statica* D_s viene indicato come la deflessione massima permanente di un punto qualsiasi del lato rivolto verso il traffico del sistema di ritenuta, misurata "a riposo" ovvero dopo l'urto del veicolo sul dispositivo e può essere utile nella valutazione dell'ingombro residuo della barriera a seguito dell'urto.

È da definire comunque che il valore della deflessione dinamica è in generale più elevato o al più uguale a quella statica.

Per quanto concerne il comportamento del veicolo di prova verrà considerato un ulteriore parametro, il "Box di Uscita" [23], ovvero l'area all'interno del quale sarà contenuta la traiettoria del veicolo dopo l'urto. Le dimensioni vengono riportate dalla normativa EN1317:2010-2 in Tab.2.11 con annessa rappresentazione grafica (Fig.2.31) facendo a menda che, al valore di A riportato in tabella, dovrà essere aggiunta la larghezza del veicolo più il 16% della sua lunghezza (eq. 6).

Tipo di veicolo	A m	B m
Automobile	2,2	10
Altri veicoli	4,4	20

Tabella 2.11: Dimensioni Box di uscita secondo normativa EN1317-2

¹⁶ Rappresentazione grafica estratta da: "Costruzione di Strade, ferrovie ed Aeroporti 1", Ing. Francesca Maltinti

$$A = 2,2 + largh_{veicolo} + 16\% \cdot lung_{veicolo}$$

Equazione 6: Calcolo lunghezza effettiva del box di uscita funzione delle dimensioni del veicolo

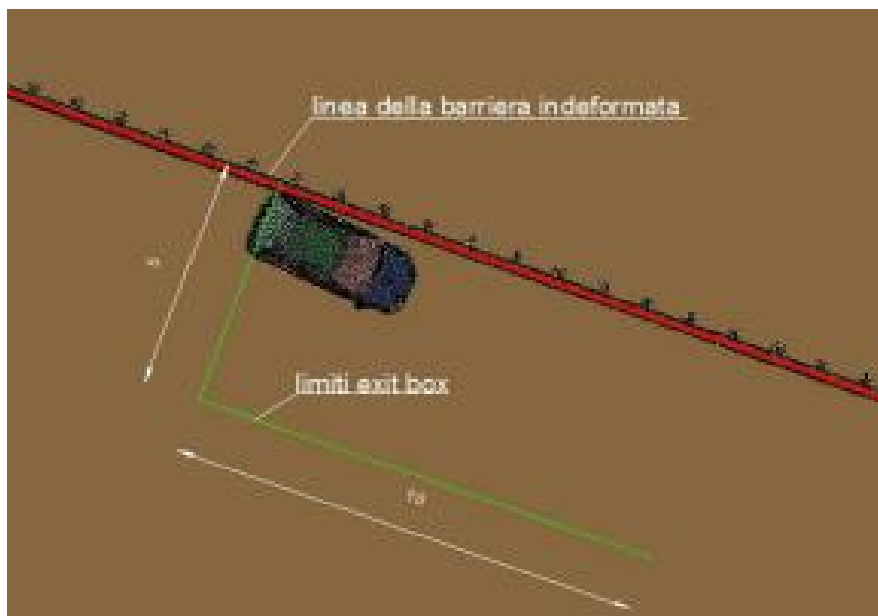


Figura 2.31: Rappresentazione grafica Box di uscita

2.6 PROGETTO DELLE BARRIERE LONGITUDINALI SU STRADA

Con il D.M. n° 223 del 18/02/1992 [5] viene introdotto, per la prima volta, l'obbligo per le strade pubbliche extraurbane e per quelle urbane con velocità di progetto maggiore o uguale a 70 km/h, di dotare i progetti esecutivi di un allegato progettuale, redatto da un ingegnere, completo di una relazione motivata sulle scelte volta a definire la tipologia di barriera adoperata, la loro ubicazione e le opere complementari annesse al fine di garantire adeguati livelli di sicurezza stradale. Il progetto è denominato come Piano di Sistemazione su Strada (PSS)¹⁷ e le sue indicazioni hanno valenza non solo per le strade di nuova realizzazione ma anche per quelle esistenti, nei casi in cui si prevedano:

- la costruzione di nuovi tronchi stradali;
- l'adeguamento, per una lunghezza significativa, di tratti stradali esistenti;
- la ricostruzione e riqualificazione di dispositivi di ritenuta di opere d'arte poste in posizione pericolosa per l'ambiente esterno alla strada o per l'utente stradale, anche se non ricadenti nell'adeguamento di un intero tronco.

¹⁷ Fonte: Elenco Attività Lavorative Piani di Sicurezza PSS - Serform (serforma.it)

Qualora su una strada urbana non si ricadesse nei seguenti casi, ma insorgessero comunque situazioni di potenziale pericolo, il progettista dovrà valutare l'eventuale installazione dei sistemi di ritenuta.

Il progettista addetto alle applicazioni dei dispositivi di sicurezza in conformità con quanto richiesto dall'art. 2 del D.M. 223/92 e nel prevedere la protezione delle zone previste nell'art.3 del D.M. 21/06/2014 n° 2367 [13], definirà le caratteristiche prestazionali dei dispositivi da adottare in relazione a diversi fattori quali: tipologia, classe, livello di contenimento, indice di severità, materiali, dimensioni, peso massimo, vincoli, larghezza di lavoro, punti di inizio e fine tratta con annessi terminali e attenuatori adeguati, ecc., tenendo conto della loro congruenza con il tipo di supporto, il tipo di strada, le manovre ed il traffico prevedibile su di essa e le condizioni geometriche esistenti.

Si individuano, in questo modo, i tratti e punti da proteggere inserendo i dispositivi di sicurezza passiva adeguati. Essi saranno riportati su un elaborato planimetrico, tale da rendere di facile comprensione la localizzazione del tratto di intervento, la sua lunghezza e la classe di contenimento specifica.

Vengono inoltre recepite le norme EN1317:2010 parti 1,2,3,4 [17] che individuano la classificazione prestazionale dei dispositivi di sicurezza nelle costruzioni stradali, le modalità di esecuzione delle prove d'urto e i relativi criteri di accettazione.

Circolare Ministeriale n° 62032 del 21/07/2010 indica una distinzione tra la larghezza operativa e lo spazio di lavoro precisando:

“Il concetto di spazio di lavoro si riferisce alle condizioni di appoggio del veicolo in svio, affinché queste siano sufficienti per il corretto funzionamento della barriera, mentre la deformazione dinamica e la larghezza operativa si riferiscono al comportamento del sistema in presenza di un veicolo in svio anche nelle sue parti in elevazione. Lo spazio di lavoro è finalizzato a garantire, sulle strade esistenti, la larghezza cinematica necessaria al veicolo in svio ma non la resistenza meccanica in caso di impatto.”

Nella Fig. 2.32¹⁸ viene riportata una rappresentazione di quale sia l'effettivo spazio di lavoro.

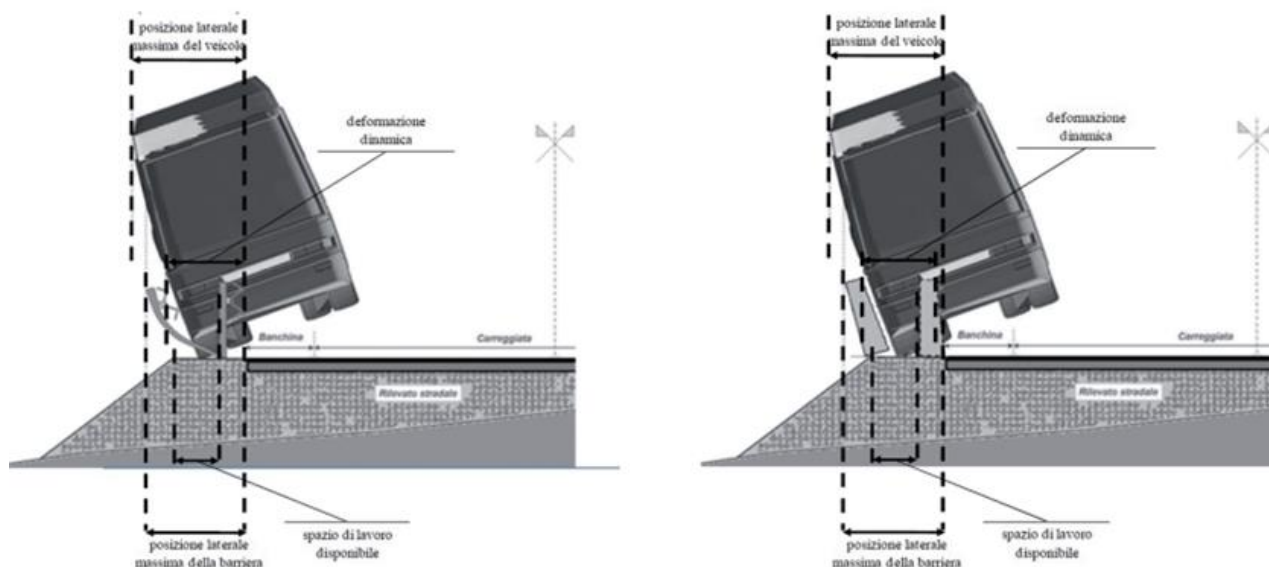


Figura 2.32: rappresentazione dell'effettivo spazio di lavoro.

Successivamente in relazione al tipo di strada che si vuole mettere in sicurezza, se è esistente o di nuova costruzione, si valutano gli spazi liberi a disposizione e si definiscono quelli minimi per l'installazione dei dispositivi e la loro lunghezza. A tal proposito la normativa stabilisce che essi debbano avere una estensione minima, comprensiva di ancoraggi e terminali, pari almeno a quella indicata da marcatura CE, per garantire un'estensione pari almeno a quella del prototipo sul quale sono state effettuate le prove d'urto con lo scopo di assicurarne le prestazioni. Ai sensi della norma UNI EN 1317:2010-5, la lunghezza minima di installazione di un dispositivo è costituita da un tratto centrale e da due ali (tratto di inizio e fine), indispensabili per consentire al tratto centrale di esplicare la totalità delle sue funzioni lungo tutto il suo sviluppo come definito in accordo con la documentazione della marcatura CE.

Qualora non fosse possibile garantire l'estensione minima allora si farà riferimento all'art. 6 del D.M. 2367 21/06/2004 [9], il cui contenuto viene citato in seguito:

“laddove non sia possibile installare un dispositivo con una lunghezza minima pari a quella effettivamente testata (per esempio ponti o ponticelli aventi lunghezze in alcuni casi sensibilmente inferiori all'estensione minima del dispositivo), sarà possibile installare una estensione di dispositivo inferiore a quella effettivamente testata, provvedendo però a raggiungere la estensione minima attraverso un dispositivo diverso (per esempio testato con pali infissi nel terreno), ma di pari classe di contenimento o di classe ridotta, H3 solo nel caso di affiancamento a barriere bordo ponte di classe H4, garantendo inoltre la continuità strutturale. L'estensione minima che il tratto di dispositivo “misto” dovrà raggiungere sarà costituita dalla maggiore delle lunghezze prescritte nelle omologazioni dei due tipi di dispositivo da impiegare”

¹⁸ Immagine presa da: “Quaderni tecnici volume VI”

Altro dato da considerare è quale sia il tipo di sinistro che si verifica con maggiore incidenza per quel tratto di strada. L'analisi risulta possibile da svolgere solo nel caso di strade esistenti, per strade di nuova progettazione si farà riferimento a quelle esistenti con caratteristiche simili. Questo porterà ad una identificazione degli spazi trasversali necessari a consentire alle barriere di esplicare il loro funzionamento in fase d'urto senza che queste incontrino degli impedimenti.

Il corretto funzionamento dei dispositivi è legato alla natura, addensamento e forma del terreno nel quale verranno infissi i pali della barriera. Risulta necessario verificare nei progetti di sistemazione su strada che i terreni in sito, soggetti ad infissione, abbiano comportamenti analoghi ai terreni utilizzati per i crash test.

Se tali suoli dovessero discostarsi eccessivamente dai terreni di prova sarà necessario eseguire delle trasformazioni, locali o lungo tutto il bordo stradale, in modo da rendere l'area di interesse con caratteristiche meccaniche idonee. Queste modifiche potrebbero portare in certi casi ad effettuare delle nuove prove d'urto per ottenerne l'omologazione.

Ricordando che la progettazione geometrica e funzionale delle strade prevede che l'installazione di barriere stradali avvenga sul filo esterno della banchina tuttavia, per particolari condizioni geologiche e dell'andamento plano-altimetrico della strada, il posizionamento standard degli elementi longitudinali potrà verificare il mancato rispetto dei requisiti minimi di visibilità del tracciato. Tutto questo rende necessario valutare adeguati provvedimenti, nel caso in cui le barriere di sicurezza introdotte abbiano limitato le distanze di visibilità in curva, peraltro già richiamati dal D.M. 2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" [27]. Le procedure di valutazione della distanza di visuale libera si basano su considerazioni di tipo geometrico che mettono in relazione la distanza del veicolo durante il senso di marcia e quella del punto di mira, ossia dell'ipotetico ostacolo, che si trova lungo lo stesso asse del veicolo in questione o nel senso di marcia opposto. Viene riportata in Fig. 2.33 [28] una situazione tipica di visibilità in curva¹⁹.

¹⁹Fonte: "Strade" vol 2, Felice Santagata.

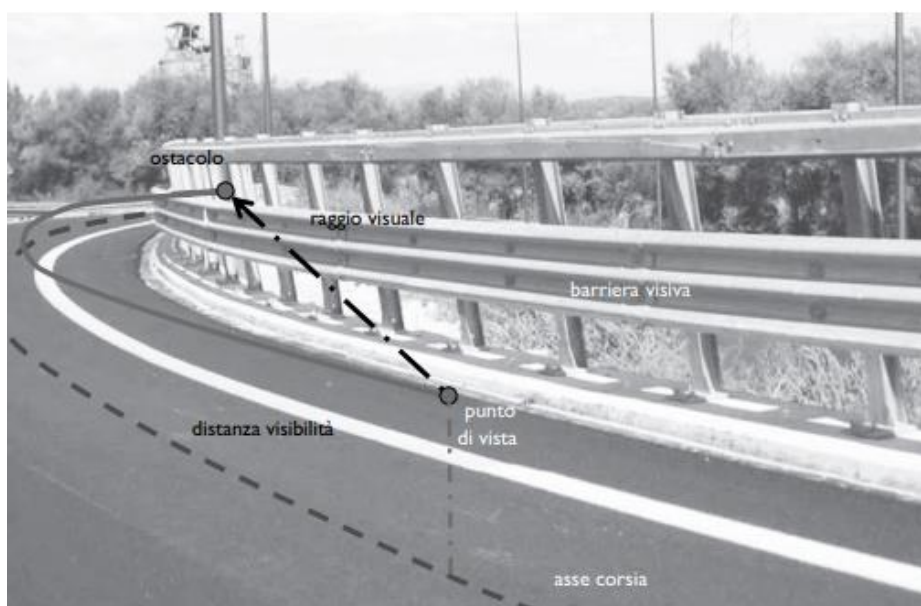


Figura 2.33: rappresentazione visibilità in curva con presenza di sistemi di ritenuta laterale.

Una soluzione possibile è quella di portare un allargamento della banchina fino al raggiungimento di un valore “ Δ ” [25] necessario per garantire le condizioni di minima visibilità di sicurezza con annessa verifica dell’idoneità di tali sistemi qualora la modifica dovesse portare a delle modifiche tali da rendere necessarie altre prove d’urto per il collaudo. In Fig.2.34 viene rappresentato uno schema tipo di allargamento stradale²⁰.

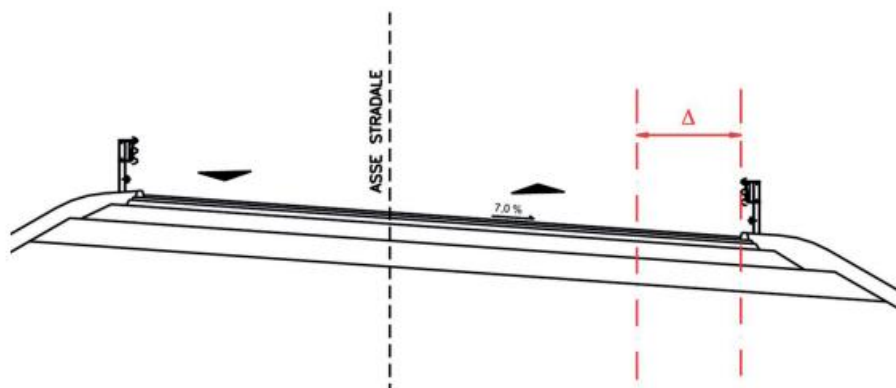


Figura 2.34: schema di allargamento banchina per garantire i requisiti di visibilità previsti da normativa

²⁰ Ripresa da: “Quaderni Tecnici vol.6”

Andando ad indicare con Δ la distanza tra l'asse della corsia interna e la linea di visuale. (Fig.2.35).

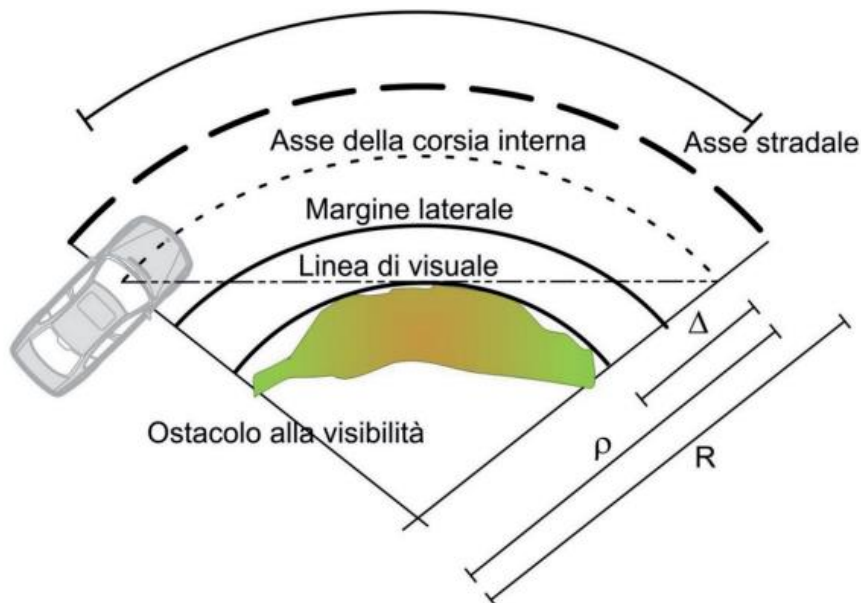


Figura 2.35: Schema di controllo della visibilità in curva.

2.6.1 ELABORATI PROGETTUALI

Come già esplicitato nel capitolo 2.5 del suddetto documento, con il D.M. 1992 entrò in vigore la stesura di elaborati tecnici ogni qualvolta vi fosse la realizzazione di strade pubbliche, extraurbane e urbane, con velocità di progetto maggiore o uguale a 70 km/h.

Secondo quanto riportato dal D.M.2004 il progettista dovrà curare, con specifici disegni esecutivi e relazioni di calcolo, l'adattamento dei singoli dispositivi alla sede stradale in termini di: supporti, drenaggio delle acque, collegamenti tra diversi tipi di protezione, zone di approccio alle barriere, punto di inizio e di fine in relazione alla morfologia della strada per l'adeguato posizionamento dei terminali, interferenza e/o integrazione con altri tipi di barriere, ecc. Entrando nello specifico, gli elaborati tecnici da redigere in fase di progetto, riguardanti i sistemi di ritenuta stradale, sono i seguenti [25]:

- *Relazione tecnica:*

In tale relazione sono elencati gli ostacoli presenti ai margini della strada e la loro ubicazione, talvolta con allegate fotografie del loco oggetto di intervento, le ragioni che hanno portato a proteggere certi tratti stradali, le barriere adottate (indicandone le classi di appartenenza, gli indici di severità, etc.) ed il loro posizionamento. Essa dovrà contenere tutti i riferimenti normativi seguiti, le indicazioni del traffico medio giornaliero messo in relazione con la percentuale di mezzi pesanti, una breve descrizione dell'intervento che si intende effettuare e dei futuri interventi che saranno necessari per realizzare la manutenzione ordinaria e, se necessario, straordinaria. In fine segue una descrizione delle

condizioni al contorno per verificare l' idoneità delle barriere scelte con le caratteristiche del terreno (con eventuali interventi di adeguamento) e dell' ambiente circostante.

- *Piano di indagini geognostiche:*

volte a verificare la compatibilità del terreno con le caratteristiche richieste dalla barriera, per poter svolgere la sua mansione così come definito da marcatura CE. L' intero iter di indagini si può schematizzare in 4 fasi fondamentali sotto riportate:

- 1) Ispezione visiva del cordolo stradale per evidenziare eventuali zone di rottura e degrado eccessivo per individuare eventuali interventi di ripristino;
- 2) Verifica geometrica del cordolo che deve avere dimensioni compatibili con quelle richieste dalla barriera sia in termini di larghezza della sezione che della pendenza del ciglio stradale;
- 3) Verifica strutturale del cordolo stesso che deve essere in grado di sostenere le azioni che può esercitare una barriera stradale, definendo le caratteristiche meccaniche sia del cemento che dell' acciaio;
- 4) Nel caso in cui il cordolo risultasse verificato, il progettista può mantenere l' esistente e installare le barriere su di esso mentre; nel caso in cui la verifica non desse esito positivo, si avrà la necessità di demolire il cordolo esistente (totalmente o parzialmente) e dimensionarne un nuovo in modo tale da risultare idoneo alle verifiche.

- *Schede di rilevato delle barriere ove esistenti;*

- *Planimetria dello stato di fatto:*

planimetria delle tratte di inizio e fine dei dispositivi di ritenuta indicandone la categoria e il livello di contenimento;

- *Planimetria delle barriere di sicurezza:*

andranno indicati: il tipo di barriere, la loro estensione, i tipi di attenuatori d' urto e loro ubicazione e la sistemazione dei dispositivi in corrispondenza di punti singolari (pile, spalle di ponti, intersezioni, accessi...). Affinché sia ritenuta idonea dovrà essere redatta in scala 1:1000;

- *Sezioni tipo stradali e particolari costruttivi:*

la scala con la quale verranno riportati in scala 1:50. Verrà riportato il posizionamento della barriera (rilevato, trincea, viadotti e gallerie) ed in corrispondenza di punti singolari evidenziando gli spazi disponibili;

- *Schemi tipologici delle barriere;*

- *Computo metrico-estimativo della fornitura barriere*

2.6.2 PROCEDIMENTO PER LA SCELTA DELLE BARRIERE LONGITUDINALI

La scelta dei dispositivi di sicurezza stradale avviene sempre in attinenza con la destinazione, ubicazione e condizioni a contorno (traffico, percentuale di mezzi pesanti, caratteristiche del suolo, livelli di contenimento, etc.).

Viene proposta una possibile procedura che consenta al progettista del “Progetto di Sistemazione su Strada” un approccio sistematico nell’ambito di un progetto relativo ai dispositivi di ritenuta stradale²¹.

- I. Individuazione di tutte le norme in vigore e delle disposizioni in esse contenute;
- II. Definizione della categoria stradale (riferimento al codice stradale);
- III. Individuazione dei luoghi da proteggere:

In Tab. 2.12 vengono indicate, in funzione della sezione stradale, le configurazioni che necessitano di una specifica protezione;

CONFIGURAZIONE CHE NECESSITA DI UNA SPECIFICA PROTEZIONE CON DISPONIBILITÀ DI RITENUTA			
SITUAZIONE STRADALE	TRINCEA	CUNETTA DI PIATTAFORMA TRAPEZIA	SI
		CUNETTA DI PIATTAFORMA TRIANGOLARE	NO-SI*
	PONTI, SOVRAPASSI, VIADOTTI, ETC	PROTEZIONE SEMPRE NECESSARIA INDIPENDENTEMENTE DALL'ALTEZZA ED ESTENSIONE DELL'OPERA	SI
	GALLERIA	SEMPRE NECESSARIO PROFILO REDIRETTIVO	SI
	RILEVATO	ALTEZZA ARGINELLO DAL P.C. $H < 1,00\text{M}$	NO SE PENDENZA SCARPATA $< 2/3$ SI SE PENDENZA SCARPATA $> 2/3$
		ALTEZZA ARGINELLO DAL P.C. $H > 1,00\text{M}$	SI
	SPARTITRAFFICO OVE PRESENTE	SEMPRE SE VENGONO ADOTTATE LE LARGHEZZE DI CUI AL D.M.5/11/2011	SI
	OSTACOLI FISSI	LA PROTEZIONE VA VALUTATA IN BASE AL RISCHIO (CARATTERISTICHE OSTACOLO, DISTANZA DAL MARGINE DELLA PIATTAFORMA)	

Tabella 2.12: Configurazioni che necessitano di una specifica protezione in funzione della sezione stradale

- IV. Scelta del tipo di traffico in funzione del TGM (Traffico Giornaliero Medio Annuale nei due sensi) e della percentuale di mezzi pesanti (aventi massa superiore a 3500 kg);
- V. Scelta e definizione della protezione minima richiesta dalla normativa:
In Tab.5.6 (cap.2.5.2) sono riportate le classi minime dei dispositivi di ritenuta stradale che il progettista deve adottare;

²¹ Procedura è ripresa dai Quaderni Tecnici vol.6

- VI. Valutare se occorre installare dispositivi con livelli di contenimento superiori a quelli minimi individuati al punto precedente:*
la valutazione spetterà al progettista del PSS;
- VII. Verifica dell'adeguata distanza tra la barriera e l'ostacolo:*
in questa fase verranno presi in considerazione i valori di larghezza operativa, deflessione dinamica e intrusione del veicolo;
- VIII. Verifica dell'adattamento dei dispositivi scelti alla sede stradale:*
La verifica avverrà in termini di supporti, drenaggio delle acque, collegamenti tra diversi tipi di protezione, zone di approccio alle barriere terminali. Inoltre, ai sensi dell'art. 6 del D.M. 21/06/2004, il progettista potrà prevedere la collocazione dei dispositivi con uno spazio di lavoro (inteso come larghezza del supporto a dorso della barriera) necessario per la deformazione più probabile negli incidenti abituali della strada da proteggere;
- IX. Verifica delle distanze di visibilità per l'arresto e per il sorpasso:*
come già esplicitato nel capitolo 2.5 del codesto documento, le barriere di sicurezza possono rappresentare un serio impedimento alla visibilità per il sorpasso e/o per l'arresto specialmente in prossimità di zone con andamento stradale differente da quello rettilineo. L'iter da seguire qualora si ricadesse in situazioni di questo tipo è definito dallo stesso DM 2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" che indica di quanto è opportuno distanziare le barriere dal ciglio della strada.

2.7 MANUTENZIONE

Riconoscendo l'importanza della conservazione della qualità edilizia nel tempo, considerando la manutenzione sulle barriere come controllo riferito anche alla geometria e alle condizioni di vincolo; viene introdotto il "Piano di Manutenzione dell'Opera" [29] e delle sue singole parti. Costituisce esso il primo strumento per la gestione e programmazione delle attività di ripristino e manutenzione tramite programmazione nel tempo gli interventi. Gli obiettivi sono finalizzati ad ottimizzare le economie gestionali e organizzative per individuare ed allocare le risorse necessarie, per innalzare il livello di prestazione dei manufatti.

Un'infrastruttura, qualunque essa sia (ponti, autostrade, etc.), all'atto della sua progettazione ed esecuzione non può ovviamente essere considerata un bene di durata illimitata, per il quale necessitano negli anni esclusivamente interventi di manutenzione che non siano prevedibili sia dal

punto di vista della variabile spaziale che temporale. Come qualunque opera di ingegneria civile, essa deve essere associata ad una definita “vita utile” ed un programma manutentivo.

Il programma di manutenzione viene inteso come uno strumento che indica un sistema di controlli e di interventi calendarizzati, al fine di una corretta gestione del bene e delle sue parti nel corso degli anni. Esso è costituito da un sottoprogramma dei controlli e un sottoprogramma degli interventi di manutenzione. Tale sottoprogramma, esplicito in maniera più dettagliata dal “Manuale Progettazione e Manutenzione”²² di barriere stradali, viene sotto riportato:

- a) ispezione superficiale (ovvero “vigilanza”), effettuata frequentemente, con lo scopo di rivelare difettosità macroscopiche ed eventuali anomalie riscontrabili visivamente. Non sono previste in questa fase apparecchiature di monitoraggio, quindi non è da prevedere l’impegno di spesa per la manutenzione, l’ammortamento e per la sostituzione di apparecchiature;
- b) ispezione minore, del tipo schematico, con frequenza annuale, da parte del personale qualificato, ovvero Tecnici di Reparto, i quali effettuano vari esami di singole parti dell’opera andando a compilare apposite modulistiche;

I dati rilevati delle ispezioni visive e delle eventuali indagini strumentali, acquisiti dall’eventuale monitoraggio permanente, saranno riportati con cadenza periodica, sulle cosiddette “schede difetti”, integrate da una “scheda giudizio” per ogni componente.

Tali schede sono strutturate in modo da poter individuare l’esatta natura del degrado, in modo da definire il livello di gravità del difetto stesso. Per mezzo di queste cartelle il tecnico incaricato del rilevamento esprimerà il suo punto di vista in merito alla funzionalità complessiva della barriera e ai possibili interventi che dovranno essere attuati.

Agli Enti proprietari e gestori delle strade è richiesto, ai sensi del D.M.223/92, di verificare lungo la rete stradale di propria competenza le condizioni di efficienza e conservazione dei dispositivi di ritenuta. Le verifiche avvengono tramite controlli periodici sottoponendo le strade a interventi di conservazione: qualora questi dovessero risultare non idonei saranno soggetti a manutenzione o, nei casi di maggior degrado (danneggiamenti a seguito di incidenti o per altri motivi) ad una imminente sostituzione. I controlli e le riparazioni avverranno in conformità alle prescrizioni, indicazioni e alle informazioni fornite dal fabbricante o dal produttore.

È possibile rappresentare tramite una scaletta generale le principali operazioni da effettuare per la manutenzione [30]:

- interventi di riparazione locale o sostituzione di componenti del sistema ammalorato o danneggiato;
- applicazione di trattamenti protettivi alle superfici nei confronti delle aggressioni da agenti atmosferici;
- controlli di serraggio della bulloneria di unione, ove presenti.

²²Fonte: <http://www.provincia.salerno.it/>

Nell'ambito del progetto di adeguamento delle barriere stradali è risultato necessario prevedere anche gli interventi aggiuntivi da realizzare sulla piattaforma stradale quali:

- Intervento di risanamento della pavimentazione stradale;
- Intervento di risanamento della segnaletica stradale orizzontale e verticale.

Bisogna effettuare una distinzione tra le barriere soggette a manutenzione data la possibilità di far fronte a due diverse situazioni; nella prima si prevede la riparazione di una barriera esistente non omologata secondo marcatura CE mentre, nel secondo caso viene contemplata la condizione complementare, ovvero di presenza della marcatura.

Nel primo caso sarà importante che l'installazione manutentiva sia approvata per mezzo di un certificato di corretta installazione, da redigere a seguito di sopralluogo qualora sia garantito il rispetto delle specifiche minime previste da normativa; mentre per quanto concerne il secondo, il materiale sostitutivo impiegato deve essere conforme alle caratteristiche tecniche e costruttive della barriera originaria.

Altra prassi verrà seguita nel caso di sostituzione di elementi deteriorati o incidentati all'interno di tratte omogenee o continue di barriera in queste occasioni è necessario che siano almeno garantiti²³:

- la classe della barriera esistente;
- la conformità agli schemi grafici di montaggio rispetto al certificato di omologazione e/o crash test della barriera esistente;
- la continuità delle caratteristiche tipologiche, strutturali e dimensionali, in rapporto alla classe già in opera in quel tratto di strada.

La manutenzione delle barriere deve anche prevedere il rispetto di determinate modalità di posa in opera, relative all'altezza della barriera da terra, alla distanza tra i montanti e alla loro modalità di infissione, alla sovrapposizione dei nastri e alle dimensioni dei terminali.

2.8 BARRIERE STRADALI "INTELLIGENTI"

L'incremento della sicurezza delle infrastrutture stradali può essere ottenuto operando simultaneamente sui fattori che incidono sulla sicurezza stradale, attiva e passiva.

La sicurezza stradale attiva è influenzata da tutti quei provvedimenti che mirano ad aumentare la probabilità che non si verifichino incidenti stradali, tra i quali rientrano le caratteristiche del tracciato di coerenza, buona leggibilità della segnaletica (orizzontale e verticale), adeguatezza di visuale libera per l'arresto e di segnaletica stradale, buona aderenza offerta dalla pavimentazione, illuminazione notturna, ecc.

²³ Fonte: "Strade" vol 2, Felice Santagata

Invece i presidi utilizzati per garantire adeguati livelli di sicurezza passiva dell'infrastruttura in genere non mirano alla riduzione del numero di incidenti stradali, ma vengono posti in opera con l'intento di mitigare i danni, alle persone ed alle cose, derivanti dal verificarsi di un incidente.

Se fino ad ora si è parlato di barriere stradali come sistemi di sicurezza passiva; da questo momento in poi si può invece pensare di visualizzare come sistema di sicurezza attiva le nuove barriere di ritenuta denominate con l'aggettivo di intelligenti. Questo è possibile perché avranno una funzione rilevante nel ridurre il rischio incidenti nel caso di possibile collisione multipla.

Tra i dispositivi di questo tipo in fase di sperimentazione e collaudo vi è l'invenzione italiana denominata "Andromeda" [31], la quale rappresenta una barriera smart e innovativa che nelle funzioni potrebbe affiancare le tradizionali barriere a seconda della strada. La novità più rilevante riguarda la funzione di allerta in caso di incidente ma sono presenti anche funzionalità per la guida con nebbia o di notte.

Andromeda, così come spiegato dall'azienda produttrice (SMA Road Safety), è realizzata per rilevare incidenti e segnalarne la presenza. In caso di incidente stradale può segnalare la presenza dell'incidente alle altre auto anche a diversi chilometri di distanza per mezzo di un impatto distribuito segnala con le luci a led lampeggianti del rischio di collisione anche alle altre auto in transito. Il sistema luminoso sarebbe capace anche di migliorare la visibilità e il confort di guida notturna o in caso di nebbia sui percorsi con scarsa illuminazione. Si illumina grazie a due lampade: la lampada automatica per il sensore di luminosità per la nebbia e la lampada di segnalazione di incidente. Quando si verifica un urto il sistema, alimentato tramite pannello solare o elettricità, notifica il punto di impatto alla Centrale Operativa; il tratto immediatamente precedente il punto di impatto, comincia quindi a segnalare l'incidente ai veicoli in arrivo.

La Smart Barrier che stiamo trattando è una barriera di tipo longitudinale, testata e certificata per un livello H2, ed è una barriera molto meno impattante a livello estetico rispetto ai nastri di lamiera o ai blocchi di cemento armato in quanto possiede un design innovativo, perché realizzata da struttura con tubolari di acciaio e pannelli di polietilene.

La larghezza operativa è W3, notevole per una barriera che ha una larghezza di 15 cm. Tra le caratteristiche vantaggiose di Andromeda c'è la leggerezza: essendo più leggera e simmetrica, la si può collocare su un ponte come spartitraffico. Altro aspetto da considerare è l'ingombro laterale minimo corrispondente solo a 15 cm, il quale consente avere corsie multiple.

Vengono riportate a seguire due rappresentazioni delle suddette barriere (Fig.2.36²⁴) e di come dovrebbero presentarsi in situazioni notturne ad alto rischio (Fig. 2.37).

²⁴ Fonte: <https://www.sicurezzastradale.net/barriera-andromeda>



Figura 2.36: Rappresentazione Barriere Smart “Andromeda”



Figura 2.37: Rappresentazione di barriere Andromeda in situazione di nebbia e carenza di illuminazione

Altro fattore degno di nota che caratterizza questi dispositivi è che, secondo l'azienda italiana, i motociclisti potranno essere tra gli utenti che più beneficeranno della barriera.

Sono state mostrate, in fase di collaudo e sponsorizzazione di questi nuovi sistemi di sicurezza, le caratteristiche compatibili a un potenziale impatto con una moto in quanto l'altezza minima dal suolo delle barriere, i pannelli in PET e la struttura rotondeggiante sono elementi propri della barriera Andromeda e risultano del tutto compatibili con le proprietà ricercate per i guardrail salva motociclisti che risultano spesso assenti nelle strade italiane.

Va comunque chiarito che questo sistema di barriere intelligenti non è l'unico in fase di crescita e che, nel mercato europeo, vi sono altri dispositivi di questo tipo. Questo sviluppo avviene grazie alla spinta di aziende pubbliche e private che dispongono di una notevole conoscenza tecnologica ed esperienza; tali aziende intendono sfruttare al meglio le opportunità offerte dalla Rete per assicurare un utilizzo quanto più “intelligente” di strade e autostrade.

Come già anticipato nella fase introduttiva del sunnominato testo, le smart road sono in grado di ottimizzare la circolazione attraverso sistemi di monitoraggio del traffico, indicazione di percorsi alternativi in caso d'incidenti o turbative alla viabilità e gestione degli accessi ai parcheggi, oltre a molteplici funzionalità accessorie.

Tra le numerose iniziative e innovazioni tecnologiche in essere segnaliamo quella di Anas ha presentato due innovative barriere di sicurezza di recente certificazione [32]:

- La prima è in acciaio ed è denominata H4 ST DSM²⁵ (testate nel febbraio 2019): costituisce il primo di una nuova linea di dispositivi progettati da Anas e studiati per ovviare ai problemi di installazione delle barriere, con condizioni assai critiche per la stabilità/funzionalità delle stesse. I vantaggi risiedono nella possibilità di posizionarle in terreni di scarse caratteristiche prestazionali continuando comunque a garantire elevate performance di sicurezza;
- La seconda è invece realizzata in calcestruzzo ed è denominata National Dynamic Barrier Anas (NDBA)²⁶; essa presenta caratteristiche sinora uniche a livello internazionale, così come le prestazioni. Ha resistito con successo ad una sequenza di test di impatto. Dapprima da parte di un veicolo leggero (900 chilogrammi di peso), spinto ad una velocità di 100 km/h con un angolo di collisione di 20 gradi. Successivamente, la barriera danneggiata a seguito dell'urto esplicito è stata in grado di resistere all'impatto di un mezzo pesante (38 tonnellate di peso) lanciato, con medesima inclinazione, ad una velocità di 65 km/h. Entrambe le prove sono state affrontate e superate con successo presso il CSI (Centro di Certificazione ed Analisi comportamentale) di Bollate (MI), facente capo al Gruppo IMQ. Il massimo spostamento in caso di urto W2, ottenuto in ambedue i test, è valso al prodotto la marcatura CE.

Una delle caratteristiche che entrambe le barriere garantiscono è una maggiore tutela ai motociclisti (essendo questi i più esposti alle conseguenze di un urto) mediante l'introduzione di un dispositivo che al verificarsi del sinistro evita il contatto diretto contro paletti e bordi taglienti. Ulteriore aspetto comune è la presenza di un sistema integrato di comunicazione internet in grado di avvisare dell'evento le Sale Operative Anas, coordinate dalla Sala Situazioni Nazionale.

Gli ancoraggi che vengono adoperati per queste barriere ne consentono l'installazione in contesti strutturali e funzionali tra loro differenti per tipo di strada/traffico. Esse possono quindi essere posizionate facilmente (per il fissaggio degli ancoraggi sono richieste macchine battipalo dal costo contenuto) e velocemente in quanto non sono richieste strutture di fondazione, giacché l'infrastruttura poggia direttamente sullo strato di usura della pavimentazione, anche in spazi ridotti.

Per quanto concerne le NDBA vi è la presenza di una cavità interna nella parte superiore della barriera che consente il passaggio di cavi tecnologici, attraverso cui sarà possibile una

²⁵ Fonte: Autostrade per l'Italia; <https://www.stradeeautostrade.it/its-smart-road/i-dispositivi-di-sicurezza-anas/>

²⁶ Fonte: Autostrade per l'Italia; <https://www.stradeeautostrade.it/its-smart-road/i-dispositivi-di-sicurezza-anas/>

comunicazione in tempo reale alle Sale Operative di Controllo delle Aree Compartimentali Anas in merito ad eventuali danneggiamenti in modo da poter inviare squadre di soccorso ai soggetti coinvolti nell'incidente: in questo modo, è possibile accorciare di gran lunga le tempistiche attuali, avvertire del pericolo gli utenti che stanno per transitare in quel tratto di strada e garantire un ripristino tempestivo della circolazione.

CAPITOLO 3. SEGNALETICA STRADALE PER CANTIERI

In questo capitolo focalizzeremo la nostra attenzione su cosa si intenda per cantieri stradali e quale sia la segnaletica necessaria per ridurre i possibili inneschi di incidenti. Questa seconda parte, analogamente alla definizione e classificazione delle barriere di sicurezza già espressa nel capitolo 2, risulta necessaria ad individuare le procedure e manovre ottimali per minimizzare i rischi associati alle problematiche che saranno esposte nel capitolo 4 relativo al caso studio.

La segnaletica è lo strumento di comunicazione fra la strada e gli utenti che ne usufruiscono e, affinché riesca ad espletare il suo compito, deve essere tenuta nella dovuta considerazione nella progettazione stradale.

Realizzata con lo scopo di trasmettere informazioni precise e puntuali riguardanti lo stato e l'articolazione su cui riversa la strada che si sta percorrendo, essa rappresenta uno degli interventi con il maggior rapporto benefici/costi per il miglioramento del livello di sicurezza durante la guida. Tale deduzione deriva dagli aspetti di semplicità di installazione (non vi è necessità di manodopera specializzata), basso costo e tempestiva efficacia: a causa di quest'ultima caratteristica, in particolare, vi è la possibilità di porre in sicurezza l'infrastruttura a seguito di una qualsiasi perturbazione interna o esterna che mini l'equilibrio progettuale/costruttivo originario.

3.1 NORMATIVA

Così come è stata trattata l'evoluzione normativa dei sistemi di ritenuta stradale seguirà ora, con lo scopo di poter porre le basi per una più chiara comprensione di come si è arrivati alle scelte attuali, una ripresa del quadro normativo e di come si sia aggiornato negli anni.

Il primo documento in tal senso fu il D.Lgs. del 30 aprile 1992, n. 285 [33]; nuovo codice della strada con il quale si prevedono norme relative alle modalità ed ai mezzi per la delimitazione e la segnalazione dei cantieri²⁷. Nel medesimo anno fu emanato il: “*Regolamento di esecuzione e di attuazione del nuovo codice della strada*” con il D.P.R del 16 dicembre del 1992 n. 495 [34]. Entrò in vigore il primo gennaio dell'anno seguente e il suo ultimo aggiornamento all'atto pubblicato è il 05/02/2021.²⁸

A questo seguirono il DM del 09/06/95, il D.Lgs. 2/1/1997 n. 10 e la norma UNI EN ISO 20471:2013 dedicata alla trattazione di indumenti ad alta visibilità.

Dopo un periodo di stallo normativo fu emanato un disciplinare tecnico emesso dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti in data 10 luglio 2002 con lo scopo di rappresentare vari schemi segnaletici differenziati per categoria di strada; ad esso susseguì il D.Lgs. 81/2008 in materia di salute e sicurezza e il D.M. 22/01/2019 redatto per definire l'individuazione delle procedure di

²⁷ D.Lgs. 30 Aprile 1992 n.285: https://www.bosettiegatti.eu/info/norme/statali/1992_0285.htm

²⁸ D.P.R 16/12/1992:

<https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.del.presidente.della.repubblica:1992-12-16;495>

revisione, integrazione e apposizione della segnaletica stradale destinata alle attività lavorative che si svolgono in presenza di traffico veicolare.

3.2 CANTIERE STRADALE

Risulta necessario definire cosa si intenda con il termine “cantiere stradale” prima di proseguire con la trattazione riguardante la segnaletica essendo quella di interesse per il caso studio che andremo a trattare nel capitolo seguente. Vi sarà una analisi incentrata sulla segnaletica di tipo stradale definita in linea generale e, con maggiore dettaglio, quella relativa alla cantierizzazione su un tratto autostradale.

Col termine “cantiere stradale” s'intende, secondo l'Art.89 del D.Lgs. 81/08 [35] qualunque luogo in cui si effettuano lavori edili o di ingegneria civile il cui elenco è riportato nell'allegato X. In generale, si indica sia un'installazione per l'esecuzione di lavori, necessitante per altro di un rilascio di una concessione amministrativa da parte dell'ente proprietario o concessionario della strada sia la presenza di una qualsiasi anomalia e di ogni tipo di ostacolo che può trovarsi sulla sede stradale.

Nell'andare ad identificare cosa sia un cantiere stradale ci rifacciamo alla definizione fornita dal codice della strada, secondo il quale è un luogo in cui si effettuano lavori su aree poste in zone urbane o extraurbane normalmente destinate al transito di pedoni o veicoli. I lavori cui fa riferimento il codice sono:

- Lavoro di scavo;
- Lavoro di costruzione;
- Lavoro di interro;
- Deposito materiali.

Nella sopra citata definizione possono rientrare diverse categorie di cantiere, distinguibili ulteriormente in base alla durata o alle loro caratteristiche e, in funzione di quest'ultima distinzione, sono previste applicazioni di diverse disposizioni di sicurezza. I cantieri stradali si dividono ulteriormente in:

- *Cantieri fissi*: si definisce come tale un cantiere che non subisce alcun spostamento per almeno ½ giornata;
- *Cantiere mobile*: cantiere caratterizzato da una progressione continua ad una velocità che può variare da poche centinaia di metri al giorno fino a qualche km/h.

Inoltre, prendendo in esame il tempo di esecuzione dei lavori le tipologie di cantieri stradali sono:

- Cantieri di durata non superiore a due giorni, richiedono l'utilizzo di segnali mobili;
- Cantieri di durata da due a sette giorni, richiedono l'utilizzo di segnali parzialmente fissi;
- Cantieri di durata superiore a sette giorni, richiedono l'utilizzo di segnali fissi e segnaletica orizzontale gialla.

L'area di cantiere per motivi di sicurezza dovrà essere delimitata tramite barriere, delineatori speciali, coni, delineatori flessibili, segnaletica orizzontale temporanea, dispositivi retroriflettenti integrativi. Il loro posizionamento avverrà nel rispetto delle normative vigenti e, per quanto riguarda la segnaletica stradale di tipo temporanea adoperata in condizioni di cantiere ci si riferirà al D.M. del 22 Gennaio 2019: *“Individuazione delle procedure di revisione, integrazione e apposizione della segnaletica stradale destinata alle attività lavorative che si svolgono in presenza di traffico veicolare”* [36] il quale individua, ai sensi dell'art. 161, comma 2-bis e del D.Lgs. 81/2008 [35], i criteri generali di sicurezza relativi alle procedure di revisione, integrazione e apposizione della segnaletica stradale destinata alle attività lavorative che si svolgono in presenza di traffico veicolare.

3.3 SEGNALETICA STRADALE DI SICUREZZA

Indipendentemente dalle dimensioni, dalla durata e dalla tipologia dei lavori, in presenza di un cantiere stradale scatta l'obbligo di posizionare correttamente la segnaletica di sicurezza per informare gli utenti della strada dei lavori in corso e prescrivere i comportamenti da tenere in base alla situazione. Il suo utilizzo è previsto quando, a seguito della valutazione effettuata in conformità all'articolo 28 del D.Lgs. 81/08, risultino presenti dei rischi che non possono essere evitati o sufficientemente limitati con misure, sistemi di organizzazione del lavoro o con mezzi tecnici di protezione collettiva.

Ogni qualvolta si prenda in considerazione un cantiere la segnaletica di sicurezza diventa una misura fondamentale per la salvaguardia sia dei lavoratori che del traffico veicolare la cui funzione principale è quella di vietare comportamenti pericolosi, informare della presenza di rischi e pericoli e la natura di tali rischi, dare indicazioni in merito alle uscite di sicurezza e alle modalità di soccorso.

Il posizionamento dei segnali viene posto sulla pavimentazione stradale seguendo degli schemi standardizzati per le situazioni più generali che potranno poi essere oggetto di modifiche in relazione alla casistica reale di progettazione di un cantiere nella quale ci si trova. Tale analisi sarà quella che verrà svolta nel suddetto documento una volta aver chiarito tutti i punti necessari ad effettuare delle valutazioni complete sul caso studio.

Il D.M. 10 luglio 2002 [37] indica i criteri e le modalità per il segnalamento di cantieri temporanei e definisce i principi fondamentali della messa in opera della Segnaletica Temporanea.

Si fa riferimento ai principi di:

- *Principio di adattamento*

La segnaletica deve essere adattata alla situazione specifica in modo da rappresentarla al meglio andando a considerare il tipo di strada e sue caratteristiche geometriche, la natura e durata del cantiere, l'importanza del cantiere, la visibilità legata agli elementi geometrici della strada, la visibilità legata a particolari condizioni ambientali, la localizzazione e per concludere la velocità e tipologia del traffico;

- *Principio di coerenza*

La coerenza delle segnalazioni aiuta l'utente ad orientarsi e a seguire regole di comportamento idoneo a tutelarsi dai rischi. Devono quindi essere evitati messaggi contraddittori o sovrapposti. Ciò implica che ad uguale situazione devono corrispondere medesimi segnali e stessi criteri di posa; non possono permanere in opera segnali temporanei e segnali permanenti in contrasto fra loro, per cui po' essere necessario oscurare provvisoriamente o rimuovere i segnali permanenti per evitare contraddizioni;

- *Principio di credibilità*

La situazione reale deve rispecchiare quella rappresentata nei segnali in maniera tale che l'utente si fidi del messaggio. Per cui occorre che la segnaletica segua, nel tempo e nello spazio, l'evoluzione del cantiere e che non appena terminato il cantiere venga ristabilita la segnaletica permanente e tolta quella momentanea;

- *Principio di visibilità e leggibilità*

Le dimensioni, la forma, i colori e i simboli devono coincidere sempre con quelli regolamentari e devono essere in buono stato di manutenzione, limitati (non più di due in uno stesso supporto o affiancati tra loro) e con uno giusto spazio di avvistamento (corretto spazio di avvistamento e cura della verticalità).

3.3.1 CLASSIFICAZIONE DEI SEGNALI

Particolare attenzione viene data alla segnaletica temporanea di cantieri stradali che avviene tramite l'uso dei seguenti gruppi di segnali:

- *Segnali di pericolo*

tali segnali sono diversi e numerosi (in Fig.3.1 sono riportati alcuni esempi di tale segnaletica) e vedono come caratteristiche specifiche:

- forma triangolare;
- pittogramma nero su fondo giallo;
- bordo rosso.

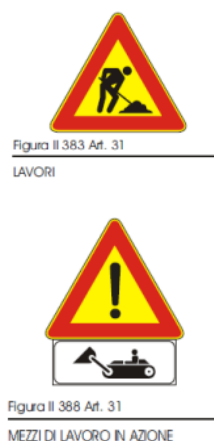


Figura 3.1: Segnali di pericolo

- Segnali di prescrizione

le loro caratteristiche vengono sotto riportate con annessi esempi in Fig.3.2:

- forma rotonda;
- pittogramma bianco su fondo azzurro (l'azzurro deve coprire almeno il 50% della superficie del cartello).



Figura II 80/e Art. 122
PREAVVISO DI DIREZIONE
OBBLIGATORIA A SINISTRA



Figura II 83 Art. 122
PASSAGGI CONSENTITI

Figura 3.2: Segnali di prescrizione

- Segnali di indicazione

Le caratteristiche peculiari sono:

- forma rettangolare con sviluppo verticale;
- pittogramma nero o rosso su fondo giallo.

in Fig.3.3 vengono riportati in alcuni esempi di segnali di indicazione;



Figura II 411/b Art. 43
SEGNALE DI CORSIA CHIUSA
(CHIUSURA CORSIA DI SINISTRA)



Figura II 410/a Art. 43
PREAVVISO DEVIAZIONE
AUTOCARRI CONSIGLIATA

Figura 3.3: Segnali di indicazione

- Segnali per cantieri mobili o su veicolo

la loro distinzione avviene secondo il DM 10 luglio 2002. Vengono riportate due rappresentazioni tra i più comuni segnali per cantieri non fissi in Fig.3.4.



Figura II 401 Art. 39
SEGNALE MOBILE DI PROTEZIONE



Figura II 400 Art. 39
SEGNALE MOBILE DI PREAVVISO

Figura 3.4: Segnali per cantieri mobili

- *Segnali luminosi*

possono essere illuminati dall'interno o dal retro e hanno caratteristiche di forma, colori e pittogrammi simili a quello dei cartelli semplici; la luce emessa da un segnale deve produrre un contrasto luminoso adeguato al suo ambiente, in rapporto alle condizioni d'impiego previste, senza provocare abbagliamento per intensità eccessiva o cattiva visibilità per intensità insufficiente e, infine, il segnale intermittente sarà impiegato per indicare, rispetto a quello continuo, un livello più elevato di pericolo (Fig. 3.5);



Figura 3.5: Segnali luminosi

- *Segnali complementari.*

Di rilevante interesse risultano i segnali complementari, i quali potrebbero costituire una parte della possibile soluzione del caso studio che verrà trattato nel successivo capitolo. Risulta quindi necessario effettuare una trattazione più ampia dei vari sistemi che appartengono a questa categoria. Tra di essi troviamo:

- *Barriera normale*



Figura II 392 Art. 32

BARRIERA NORMALE

Figura 3.6: Barriera Normale

Viene usata per la delimitazione dei cantieri stradali, ed è costituita da strisce oblique bianche e rosse rifrangenti e di notte; in casi di scarsa visibilità, può essere applicata integrazione tramite lanterne a luce rossa fissa. Lungo i lati longitudinali dei cantieri stradali le barriere sono obbligatorie nelle zone che presentano condizioni di pericolo per le persone al lavoro o per i veicoli in transito. Possono essere sostituite da recinzioni colorate in rosso o arancione stabilmente fissate, costituite da teli, reti o altri mezzi di delimitazione approvati dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

- *Barriera direzionale*

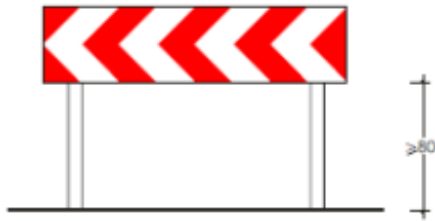


Figura II 393/a Art. 32

BARRIERA DIREZIONALE

Usata per la segnalazione di deviazioni temporanee che comportano a curve strette, cambi di direzione bruschi, attraversamento o contornamento di cantieri, od altre anomalie a carattere provvisorio (Fig. 3.7). Come le “barriere normali”, anche questi dispositivi necessitano di illuminazione nel caso di scarsa visibilità tramite l’ausilio di luci rosse fisse

Figura 3.7: Barriera Direzionale

- *Paletto di delimitazione*



Figura II 394 Art. 33

PALETTO DI DELIMITAZIONE

Adibito all’evidenziazione dei bordi longitudinali e di approccio delle zone di lavoro. La base deve essere adeguatamente infissa od appesantita per impedire il rovesciamento sotto l’effetto del vento e dello spostamento d’aria provocato dai veicoli in transito. Vengono rappresentate in Fig.3.7

Figura 3.8: Paletto di Delimitazione

- Coni

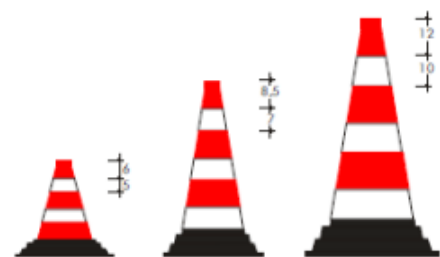


Figura II 396 Art. 34

CONI

Figura 3.9: Cono a diverse altezze

Vengono adoperati per la delimitazione ed evidenziazione delle zone di lavoro di breve durata, deviazioni ed incanalamenti temporanei, indicazione di aree interessate da incidenti o separazione provvisoria di opposti sensi di marcia (Fig.3.9).

L'interasse curvilineo di posa del cono è di 12 m in rettilineo e di 5 m in curva. Nei centri abitati la spaziatura è dimezzata. Per i cantieri su strada extraurbana principale e urbana di scorrimento devono essere utilizzati coni con tre fasce bianche e altezza superiore a 50 cm.

- Delineatori flessibili

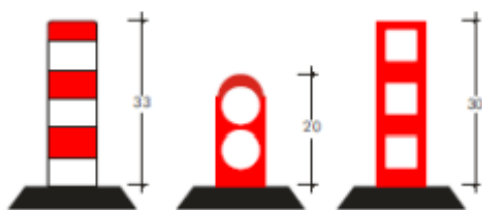


Figura II 397 Art. 34

DELINEATORI FLESSIBILI

Figura 3.10: Delineatori Flessibili

Vengono adottati per delimitare ed evidenziare zone di lavoro di media e lunga durata, deviazioni ed incanalamenti, separazione di opposti sensi di marcia. Per i cantieri in autostrada, strada extraurbana principale e urbana di scorrimento devono essere utilizzati delineatori con tre fasce o inserti bianchi, come riportato in Fig.3.10, e con altezza superiore a 30 cm.

3.3.2 DIMENSIONI

Le dimensioni dei segnali verticali, luminosi e complementari sono le medesime della corrispondente segnaletica permanente, con le stesse modalità di impiego per quanto attiene ai loro formati ed eventuali deroghe. Le dimensioni dei segnali verticali, solo per i temporanei, sono quelle fissate nel Regolamento e nel Decreto 10/07/2002 [37]. La segnaletica orizzontale temporanea ha le stesse dimensioni della segnaletica orizzontale permanente prevista per il tipo di strada o tratto di strada risultante dalla presenza del cantiere lungo la quale è installata.

Le dimensioni adottate dalla normativa vengono sotto riportate in Tab. 3.1

FORMATO	TIPOLOGIA	LATO / DIAMETRO IN CM
PICCOLO	TRIANGOLO	60
NORMALE	TRIANGOLO	90
GRANDE	TRIANGOLO	120
PICCOLO	CERCHIO	40
NORMALE	CERCHIO	60
GRANDE	CERCHIO	90

Tabella 3.1: Dimensioni standard segnaletica stradale

Il loro utilizzo viene distinto in relazione alla strada nella quale vengono posizionati.

I segnali di formato grande devono essere impiegati sulle strade extraurbane a due o più corsie per senso di marcia, su quelle urbane a tre o più corsie per senso di marcia. Per quanto concerne sul formato piccolo, viene impiegato solo se le condizioni di impianto limitano materialmente l'impiego di segnali di formato normale.

Relativamente alla segnaletica orizzontale temporanea ha le stesse dimensioni della segnaletica orizzontale permanente prevista per il tipo di strada o tratto di strada risultante dalla presenza del cantiere lungo la quale è installata.

3.3.3 CRITERIO DI LIMITAZIONE DELLA VELOCITA'

Nella segnalazione temporanea la limitazione di velocità non è sempre necessaria questo perché il segnale "Lavori" già per il messaggio intrinseco che invia ai conducenti impone una maggiore prudenza nel prevedere la possibilità di dover adeguare la loro velocità per eventuali rallentamenti o ostacoli presenti. Tuttavia, per evitare comportamenti differenti tra i vari utenti della strada per effetto di una diversa valutazione del pericolo è opportuno avere criteri uniformi nella scelta dei limiti di velocità da imporre.

La limitazione di velocità deve essere attuata a decrescere per blocchi (livelli), ordinariamente di 20 km/h; infatti, una brusca decelerazione per assenza di adeguata segnaletica, potrebbe indurre a delle conseguenze più gravose rispetto al non portare il guidatore ad una riduzione della velocità di percorrenza. Il numero dei diversi segnali da utilizzare sarà generalmente al massimo pari a tre. Per il criterio di credibilità, inoltre, non devono esserci limitazioni eccessive della velocità che non risultino effettivamente giustificate e che portino i conducenti a ignorare del tutto il segnale in questione e in generale la segnaletica apposta nell'immediata prosecuzione dell'arteria [37].

Oltre alla cartellonistica relativa, la diminuzione di velocità dovrà sempre essere anticipata da un segnale di pericolo indicante le ragioni di tale rallentamento in accordo con i principi del D.M. 10/07/2002.

La segnaletica di fine prescrizione è obbligatoria. Si attua con un segnale di "Fine limitazione di velocità " o di "Via libera".

3.4 POSIZIONAMENTO DEI SEGNALI

I segnali devono essere innanzitutto visibili, ma è anche necessario permettere al guidatore di memorizzare il segnale prima di avvistare il successivo o di arrivare immediatamente al luogo del cantiere senza aver preso le giuste precauzioni. Per queste ragioni, la distanza del primo segnale dal cantiere deve essere almeno pari allo spazio necessario per l'avvistamento, secondo quanto riportato nella seguente tabella (Tab 3.2) ed al punto 7 dell'art.81 del "Regolamento di esecuzione e di attuazione del nuovo codice della strada" [38].

TIPO DI STRADA	DISTANZA SEGNALE DI PERICOLO [m]
Strade extraurbane principali	150 / 200
Strade extraurbane secondarie e urbane di scorrimento con velocità > a 50 Km/h	100
Altre strade	50

Tabella 3.2: Distanza segnaletica in relazione alla tipologia di strada

Questi valori possono essere ridotti in presenza di ostacoli o schermature quali: pile di ponti, raggi di curvatura severi, vegetazione, etc.

Un sistema segnaletico temporaneo completo comprende di norma:

- una segnaletica di avvicinamento, posizionata a monte della zona pericolosa da segnalare;
- una segnaletica di posizione, la quale viene collocata immediatamente a ridosso e lungo la zona interessata;
- una segnaletica di fine prescrizione, situata a valle della zona interessata.

In seguito verranno riportati degli esempi di schemi segnaletici così da consentire una migliore comprensione di come avvenga il posizionamento della segnaletica in relazione alle diverse condizioni stradali e ai lavori da effettuare.

Per i cantieri di rilevante estensione lungo il tracciato stradale e/o in presenza di situazioni di criticità (ad esempio con collocazione di difficile avvistamento), la segnaletica di avvicinamento può essere preceduta da una o due lanterne a luce gialla lampeggiante (di diametro non inferiore a 30 cm) con annessa segnaletica di "lavori" e con indicata la distanza dal cantiere con lo scopo di prevedere una possibile formazione di coda in modo da gestirne il comportamento e l'affluenza.

Essendo il cantiere del caso studio un cantiere fisso sarà necessario definire l'evoluzione della segnaletica nelle varie fasi di avvicinamento, posizione e prescrizione.

La segnalazione di avvicinamento si compone genericamente di:

- un segnale "lavori" o "altri pericoli" con la presenza di un eventuale pannello integrativo che vada ad implementare le informazioni fornite dai lavori base;
- segnali di "divieto di sorpasso" e "limite massimo di velocità";
- segnali di "riduzione corsie" con pannello integrativo di distanza.

Nel caso studio si ricadrà nel primo esempio di segnalazione di avvicinamento (Cap. 4)

A questa seguirà la segnaletica di posizione, la quale è costituita genericamente da:

- 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, con esempi riportati in seguito;
- una delimitazione longitudinale realizzata solitamente con coni o delineatori flessibili, opportunamente spaziati tra loro;
- eventuali segnali aggiuntivi di pericolo e prescrizione ripetuti qualora il tratto di strada interessato sia più lungo di 1,0 Km.

Nel caso in cui la presenza dei lavori, dei depositi o dei cantieri stradali determini un restringimento della carreggiata, è necessario apporre il segnale di pericolo temporaneo indicante la presenza di una strettoia.

Per quanto concerne la fine delle prescrizioni, essa è segnalata con uno o più segnali di "fine prescrizione".

3.5 SCHEMI SEGNALETICI PER CANTIERI AUTOSTRADALI

All'interno del Decreto Ministeriale 10/07/2002, diretto ai responsabili della messa in opera e del mantenimento in efficienza della segnaletica temporanea, sono rappresentati numerosi schemi pratici volti ad indicare le modalità di applicazione di tutte le norme relative alla segnaletica temporanea.

Il documento racchiude le seguenti sezioni:

- Istruzioni esplicative degli elementi principali del segnalamento temporaneo, con appositi richiami delle norme regolamentari;
- Caratteristiche dei segnali e dispositivi temporanei;
- Schemi di segnalamento temporaneo corrispondenti ai diversi casi quali, ad esempio, cantieri fissi, cantieri mobili, incidenti;
- Ulteriori esplicazioni.

I diversi esempi hanno l'esclusivo compito di guidare i responsabili alla messa in opera della segnaletica, pur non rappresentando una soluzione per tutti i casi possibili e lasciando quindi un

certo margine di libertà per la gestione della sicurezza: in questo modo, è possibile adeguare le misure da adottare in relazione alle situazioni incontrate utilizzando i mezzi immediatamente disponibili.

I diversi schemi segnaletici sono differenziati in funzione alla tipologia di strada nella quale vengono posti, secondo la seguente suddivisione:

- Strade di tipo A, B, D ovvero autostrade, strade extraurbane principali, strade urbane di scorrimento;
- Strade di tipo C, F: strade extraurbane secondarie e locali extraurbane;
- Strade di tipo E, F quindi: strade urbane di quartiere e locali urbane.

Per le strade esistenti che non risultano perfettamente classificabili nei tipi definiti sopra, si farà riferimento a degli schemi corrispondenti al tipo di strada avente caratteristiche organizzative e geometriche più prossime a quelle dei tipi previsti dal Codice della Strada e descritte nel decreto del Ministro delle Infrastrutture e dei trasporti del 5/11/2001 (*“Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”*).

Gli schemi che verranno trattati nel suddetto documento sono quelli riferiti alle strade di tipo A essendo il caso studio interamente incentrato sulla sicurezza in ambito autostradale.

3.5.1 SCHEMI SEGNALETICI PER STRADE A, B, D

Gli schemi segnaletici sono riportati nel Decreto del 10 Luglio del 2002 per poi essere ripresi dal sito dell'Associazione Italiana Segnaletica Stradale²⁹ [39]. Ogni tavola viene argomentata e rappresentata del suddetto decreto ministeriale; in questo documento la trattazione sarà limitata esclusivamente agli schemi di segnalamento adatti a condizioni di svincolo, bivio per carreggiate a tre corsie e con cantieri di durata superiore a 7 giorni. Particolare degno di nota per questi schemi è l'utilizzo della corsia di emergenza, tale impiego, nelle situazioni più comuni, non impone particolari accorgimenti segnaletici se la corsia di emergenza ha una larghezza di almeno 3,00 metri. In caso contrario gli schemi proposti non sono adottabili, ovvero occorre tracciare le corsie richieste dallo schema su tutta la loro lunghezza sfruttando parte della corsia di destra, in modo, da non avere corsie di larghezza inferiore ai 3,00 metri richiesti

Vengono riportati in Fig. 3.11, Fig. 3.12 e in Fig.3.13 alcune tavole rappresentanti condizioni di svio o bivio che saranno da base per la risoluzione del caso analizzato nel Capitolo 4.

²⁹ Fonte: <https://www.segnaleticatemporanea.it/Manuale>

Schema valido per **Autostrade**
e **Strade Extraurbane principali**

TAVOLA 13

*Testata in zona
di deviazione e svincolo
su carreggiata a tre corsie
per lavori di qualsiasi durata*

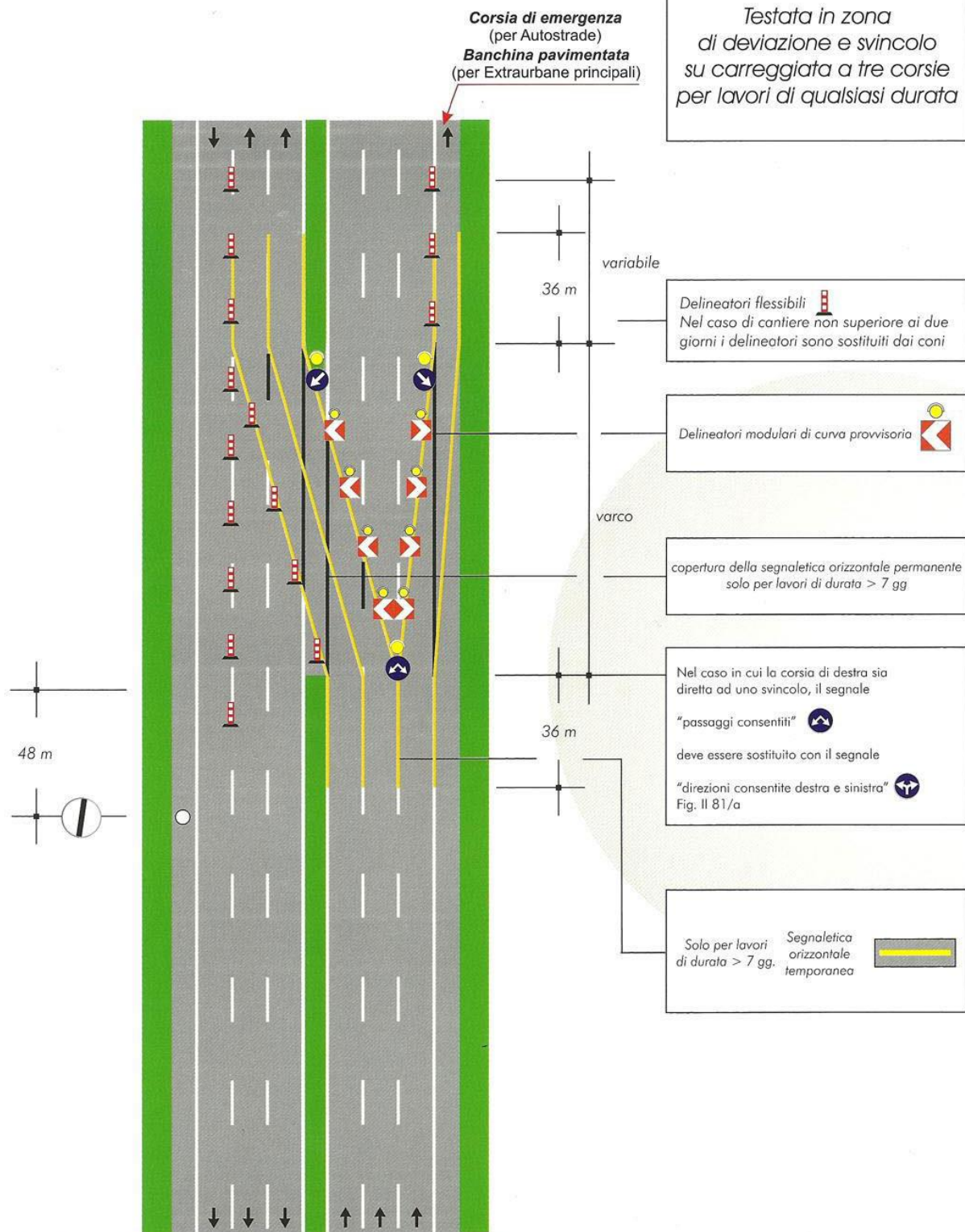


Figura 3.11: Schema segnaletico Tav.13 con rap. di deviazione e svincolo

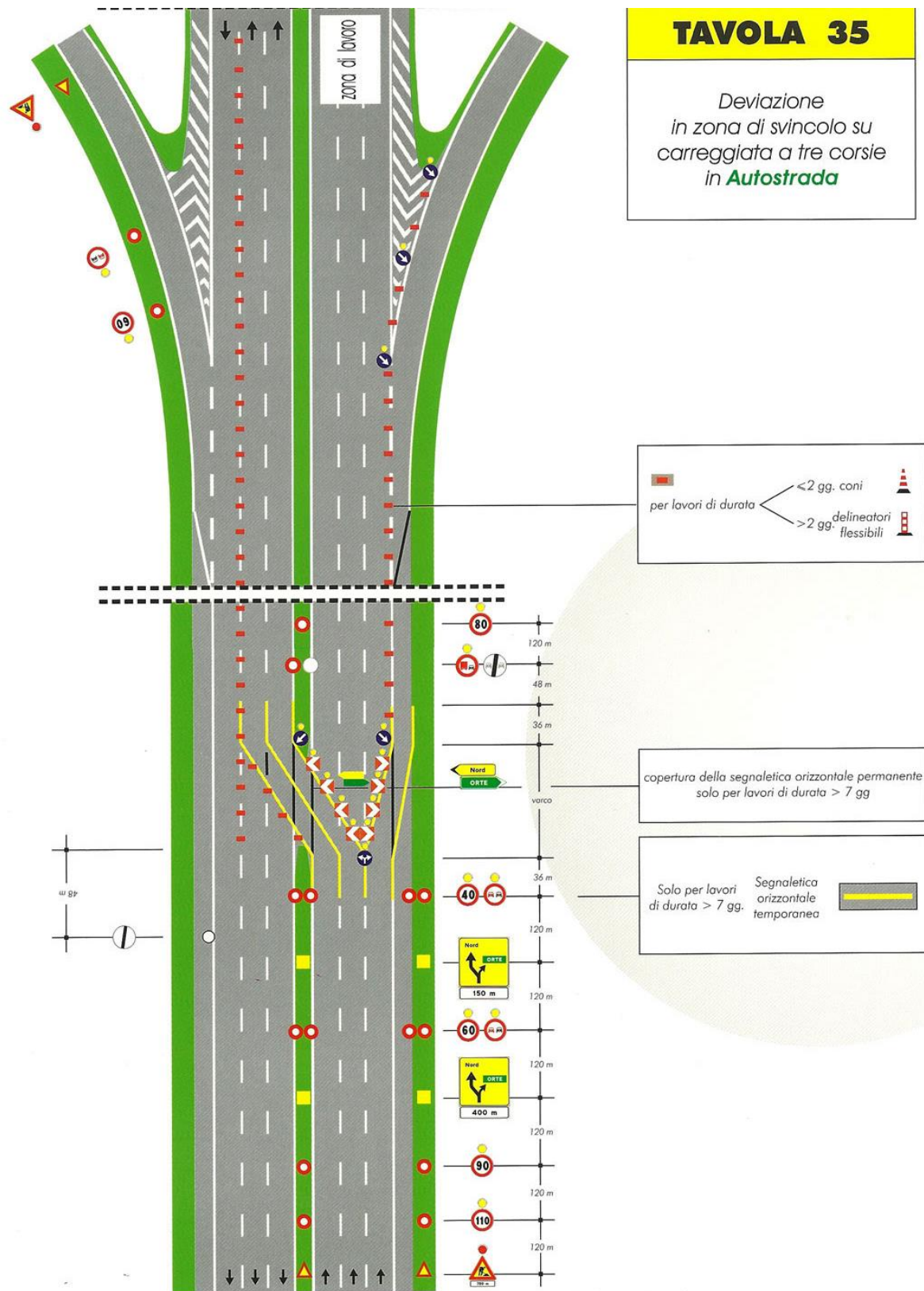


Figura 3.12: Schema segnaletico Tav.35 rap.devizione in zona di svincolo

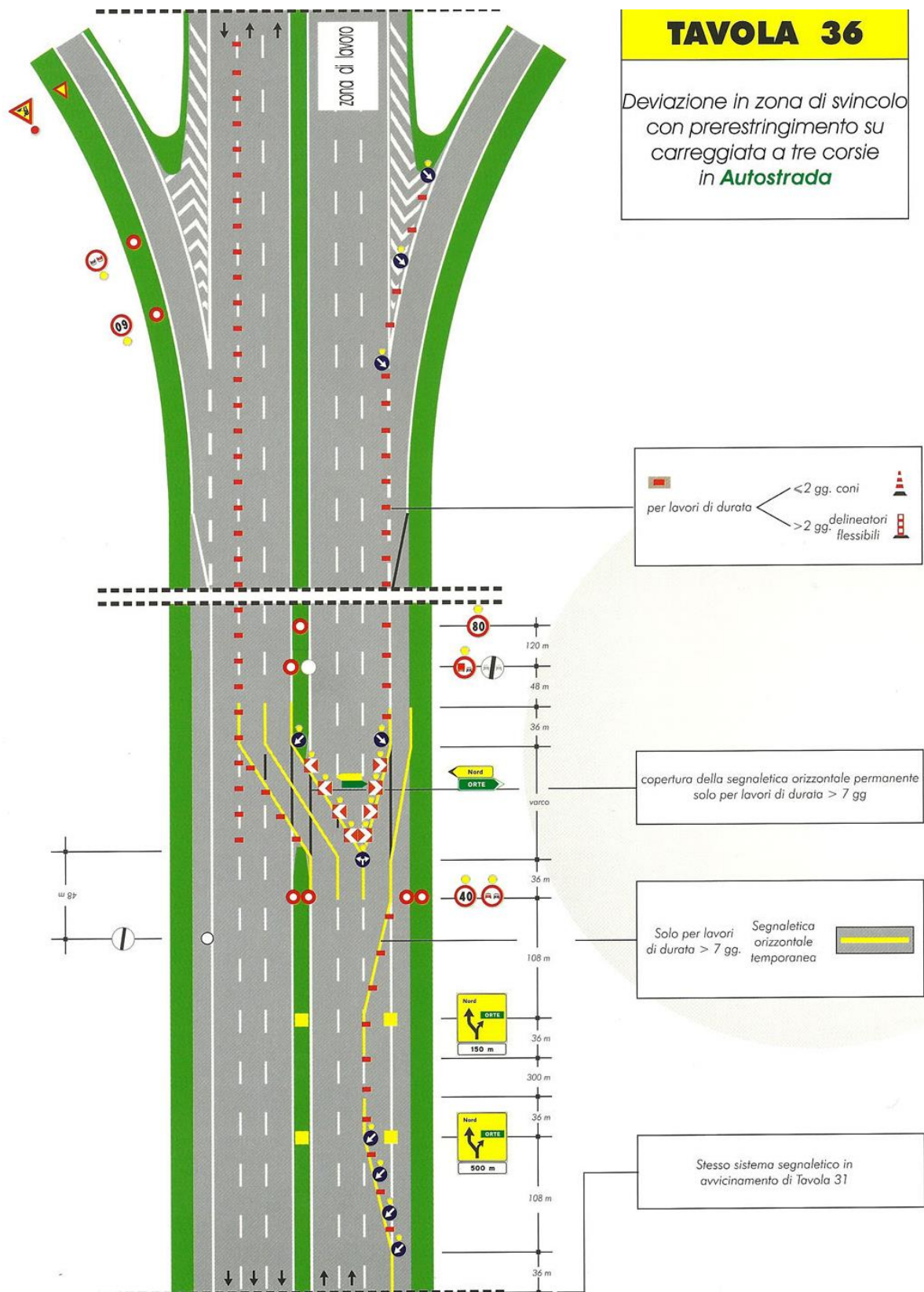


Figura 3.13: Schema segnaletico Tav.36 rap.deviazione in zona di svincolo con restringimento

Come già esplicitato, questi porranno le basi per la risoluzione del caso studio essendo questo incentrato sulla messa in sicurezza di un bivio autostradale.

Ricercando vari schemi conformi alle normative vigenti in materia di segnaletica e sicurezza nei cantieri stradali, sono stati evidenziati e riportati sotto i ” *Nuovi standard finalizzati a migliorare la sicurezza del traffico e degli operatori nei cantieri di lavoro in autostrada*”, [40] definiti da Autostrade per l’Italia e nei quali viene riportata la tipologia di cartelli e lampade da impiegare nelle testate di chiusura corsia e deviazione sulla base delle prescrizioni minime definite nel DM 10 luglio 2002 ma ridefinite in modo conforme allo sviluppo autostradale.

Viene riportato a seguire (Fig.3.14) lo schema rappresentate la testata di deviazione con bivio³⁰.

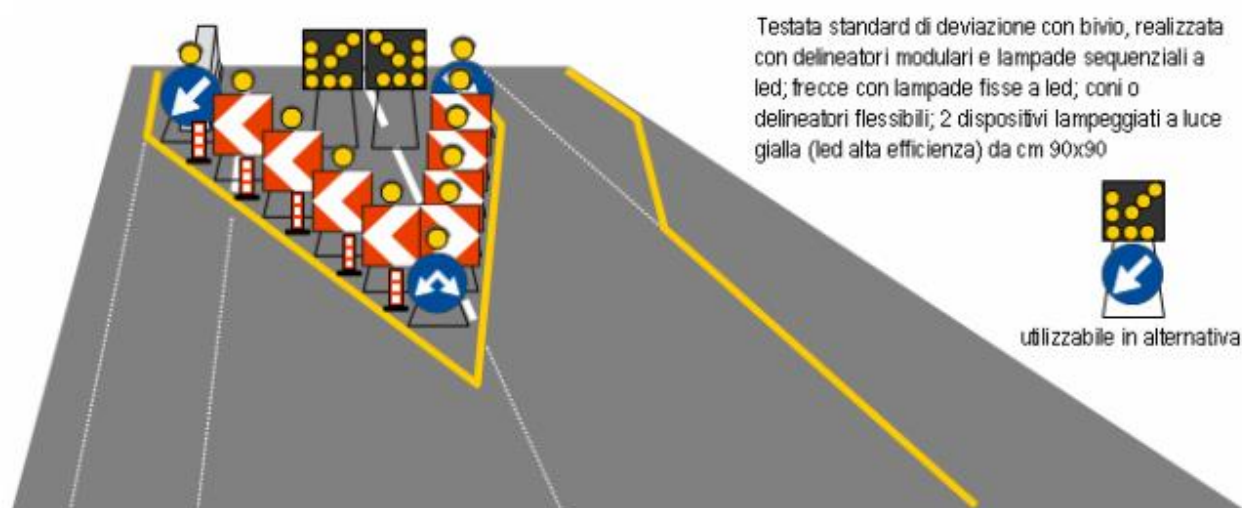


Figura 3.14: Schema segnaletico rappresenante testata di deviazione con bivio

Tali schemi, di norma utilizzati nei cantieri programmati, dovranno essere realizzati sulla base di quanto raffigurato, ponendo di volta in volta gli adattamenti più opportuni in funzione del tipo di scambio.

³⁰ Fonte: Autostrade per l'italia

3.6 SEGNALETICA ORIZZONTALE

A differenza della segnaletica verticale, composta dall'insieme dei cartelli stradali posti, appunto, in maniera verticale, la segnaletica orizzontale è formata da tutto l'insieme di strisce e scritte posizionate sulla pavimentazione stradale con funzione di prescrizione o di indicazione, allo scopo di regolamentare la circolazione dei veicoli e delle persone.

Attualmente nel nostro Paese non viene richiesto alcun tipo di omologazione per la segnaletica orizzontale, ma per volere della Commissione Europea, sarà necessario in futuro applicare, appena possibile, la marcatura CE; è già noto che per il suo ottenimento dovranno essere effettuate delle prove atte a garantire la durabilità dei materiali e dei prodotti applicati.

Nell'ambito europeo il gruppo di lavoro CEN TC226 WG2 sta sviluppando le "Norme UNI EN 1790" per i laminati e i preformati e "UNI EN 1871" per pitture termoplastici e colati plastici a freddo, le quali contengono l'ormai noto Allegato ZA che racchiude tutte le informazioni per la marcatura CE. Per quanto concerne il gruppo di lavoro sopracitato, questo prevede due possibilità per le prove di durabilità:

- prove simulate in laboratorio su tavola rotante in cui le condizioni di prova sono costanti (UNI EN 13197);
- prove di durabilità su strada in cui le condizioni di prova sono variabili (UNI EN 1824).

A differenza di numerosi Paesi quali Francia, Belgio, Repubblica Ceca ed altri Stati nei quali vengono eseguite le prove su strada oppure in Germania e in Spagna dove vengono adottate prove su tavola rotante; in Italia non vi sono indicazioni sulle modalità di ottenimento della marcatura CE.

Ripercorrendo la storia della segnaletica orizzontale; questo termine fu introdotto per la prima volta dal Codice della Strada nel 1992 e, in breve tempo, apparve evidente l'importanza di tale innovazione, tanto da essere definita tra le più importanti invenzioni a favore della sicurezza del trasporto automobilistico.

Secondo quanto riportato nell'art.40 del Codice della Strada [41], i principali segnali stradali orizzontali si dividono in:

- strisce longitudinali;
- strisce trasversali;
- isole di traffico e presegnalamento (di eventuali ostacoli all'interno della carreggiata).
- attraversamenti pedonali o ciclabili;
- frecce direzionali;
- iscrizioni e simboli;
- strisce di delimitazione (degli spazi adibiti alla sosta e alla fermata);

Sono principalmente di colore bianco, nel caso in cui ci si riferisca a segnaletica orizzontale permanente, o giallo se si parla di segnaletica orizzontale temporanea. L'attenzione sarà rivolta non a tutte le diverse tipologie riportate ma a quelle che saranno utili per la trattazione del caso oggetto di analisi nel Cap.4.

3.6.1 STRISCE LONGITUDINALI

Le strisce longitudinali devono assolvere a differenti funzioni, quali la separazione delle corsie o dei sensi di marcia, la delimitazione della carreggiata e la canalizzazione dei flussi di traffico in determinate direzioni [42].

Sono obbligatorie per tutti i tipi di strada a eccezione di quelle locali nelle quali risultano invece facoltative e possono essere di tipo continuo o discontinuo, con lunghezza del tratto ed estensione dell'intervallo definiti secondo l'Art. 138. - Strisce longitudinali (art. 40 C.s.), e riportati in Fig.3.15.

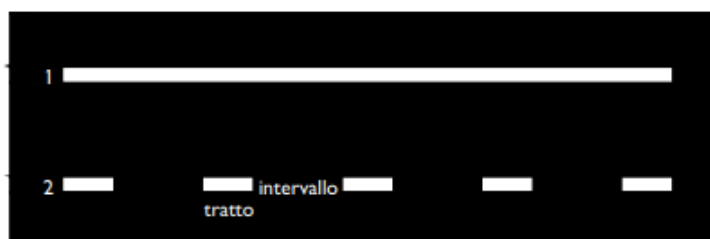


Figura 3.15: Strisce longitudinali di tipo continuo e discontinuo

Nel caso in cui ci si trovi in quest'ultima possibilità (strisce discontinue), gli intervalli tra le diverse strisce sono regolamentati in funzione ai diversi ambiti di applicazione (Tab.3.3)

Ambito di applicazione	Tratto [m]	Intervallo [m]
Separazione sensi di marcia e corsie ($V_p > 110$ km/h)	4,5	7,5
Separazione sensi di marcia e corsie ($50 \text{ km/h} < V_p < 110$ km/h)	3,0	4,5
Separazione sensi di marcia e corsie ($V_p \leq 50$ km/h o in galleria)	3,0	3,0
Preavviso di avvicinamento di una striscia continua	4,5	1,5
Delimitazione corsie di accelerazione e decelerazione	3,0	3,0
Strisce di margine, interruzione di linee continue	1,0	1,0
Strisce di guida sulle intersezioni	1,0	1,5
Strisce di separazione delle corsie reversibili	4,5	3,0

Tabella 3.3: Lunghezza tratti e intervalli per linee longitudinali discontinue

I significati che può assolvere la segnaletica longitudinale variano in relazione alle diverse strisce adoperate in quanto:

- nel caso di striscia bianca discontinua al centro della carreggiata, sarà permesso sia il sorpasso, invadendo momentaneamente l'altra corsia di marcia sia la svolta a sinistra così come di effettuare l'inversione di marcia in assenza di divieti specifici. (Fig.3.16)



Figura 3.16: Striscia discontinua

- per striscia bianca continua si ha, come nel caso precedente la divisione della carreggiata in due corsie e, nelle strade a doppio senso, divide i sensi di marcia; tuttavia, essa non può essere superata. In questo caso quindi il sorpasso sarà concesso esclusivamente se potrà avvenire senza l'oltrepassare la striscia. (Fig.3.17)



Figura 3.17: Striscia continua

- Nel caso di doppia striscia bianca continua al centro della carreggiata, verranno poste due strisce continue affiancate che servono a dividere i sensi di marcia, sulle strade a doppio senso, e non consentono l'inversione né di svoltare a sinistra. Come la singola striscia continua, la doppia striscia non può essere superata ma permette lo stesso il sorpasso se non viene superata. (Fig.3.18)



Figura 3.18: Doppia striscia continua

- Striscia continua centrale affiancata a sinistra da una striscia discontinua (o viceversa): si trovano su strade a doppio senso di circolazione e il conducente, per sapere cosa fare, deve guardare la striscia più vicina alla vettura (Fig.3.19)

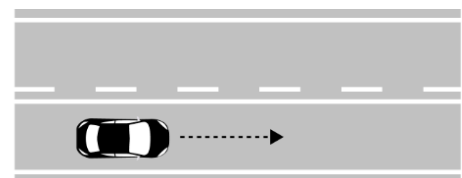


Figura 3.19: Striscia continua affiancata da una discontinua

3.6.2 STRISCE TRASVERSALI

Le strisce trasversali, anche definite come linee di arresto, designano il limite prima del quale si ha l'obbligo di arrestare il veicolo, se realizzate con linea continua, o di verificare la necessità di arrestare il veicolo, se la tipologia di linea adoperata è di tipo discontinuo. Devono essere tracciate in modo da permettere al conducente sia di avere la più ampia visuale possibile dell'intersezione, sia di agevolare le manovre di svolta. Vengono riportati alcuni esempi in Fig.3.20.

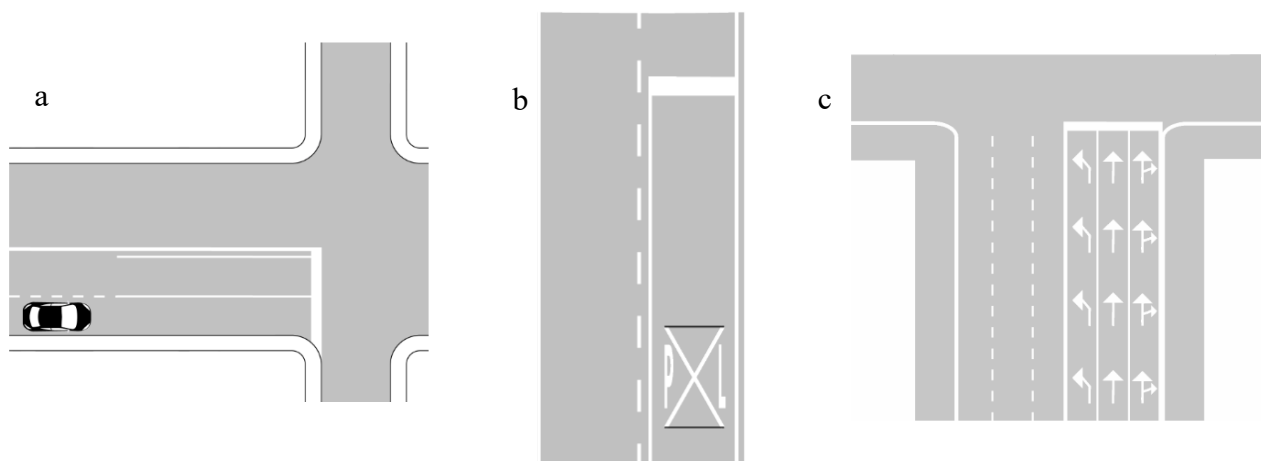


Figura 3.20÷ a, b, c: Strisce trasversali differenziate in relazione alle diverse informazioni trasmesse

In relazione a come vengono realizzate andranno a trasmettere ai diversi conducenti informazioni specifiche su come affrontare l'intersezione e su come questa sarà articolata, al fine di spingere i guidatori ad attuare tutte le misure di sicurezza richieste. Per ognuno degli esempi riportati in Fig. 3.20 viene attribuito un significato ben specifico difatti, nella figura “a”, sono presenti per prime delle strisce di guida e servono indirizzare il traffico prioritario nell'attraversamento dell'incrocio. La striscia bianca trasversale continua può essere abbinata ad un incrocio regolato da semaforo così come con presenza di stop e indica il punto in cui i conducenti devono arrestarsi. La seconda immagine “b” serve ad avvertire i conducenti che si è vicini a un passaggio a livello, con barriere o senza barriere, mentre per quanto riguarda l'ultima (“c”), sono presenti le corsie di “canalizzazione” che, come si evince dal nome che le caratterizza, hanno lo scopo di incanalare i veicoli in base alla direzione che vogliono prendere. Sono spesso accompagnate da frecce che segnalano le direzioni consentite su ciascuna corsia. In assenza di frecce, solitamente ci si regola nel seguente modo: se ci sono tre corsie la corsia di sinistra solo di svoltare a sinistra; la corsia di mezzo consente solo di proseguire dritto; la corsia di destra consente di proseguire dritto o di svoltare a destra.

3.6.3 ISOLE DI TRAFFICO

Le isole di traffico sono realizzate con strisce bianche oblique e vanno ad indicare dei tratti di strada nei quali è vietato il transito e la sosta dei veicoli. Possono essere realizzate o in forma rialzata o a raso terra non cambiando le regole e i divieti che vigono all'interno dell'isola di traffico in funzione alla sua modalità costruttiva. Viene rappresentata in figura un esempio di isola di traffico (Fig. 3.21)



Figura 3.21: Isole di traffico

Vi sono delle linee guida da poter seguire per riconoscere le differenze:

- L'isola di traffico a “raso” è realizzata con strisce di colore bianco, eventualmente delimitate con semisfere di colore bianco a profilo schiacciato con diametro variabile compreso tra 30 e 50 cm (Fig.3.21);
- L'isola di canalizzazione, essendo di tipo rialzata, viene delimitata da elementi verticali e può essere realizzata con paletti, birilli, coni, e simili lungo il perimetro dell'isola, che deve essere ben definita ed è sempre preceduta da zebraure di colore bianco come riportato in Fig. 3.22;



Figura 3.22 : isola di traffico rialzata

- Le isole di traffico permanenti possono essere realizzate in calcestruzzo e può contenere un attraversamento pedonale a raso.

3.7 SEGNALI ORIZZONTALI

I segnali orizzontali a carattere temporaneo devono essere applicati in corrispondenza di cantieri, lavori o deviazioni di durata superiore a sette giorni lavorativi, salvo i casi in cui condizioni atmosferiche o del fondo stradale ne impediscano la corretta apposizione. In tali circostanze si applicano i dispositivi retroriflettenti integrativi (Fig.3.23) che possono essere usati anche per rafforzare i segnali orizzontali temporanei in situazioni particolarmente pericolose.



Figura 3.23: Dispositivi retroriflettenti adibiti come supporto per la segnaletica orizzontale

Tali sistemi devono essere antisdrucchiolevoli e non devono sporgere più di 2,5 cm dal piano della pavimentazione; inoltre devono poter essere rimossi integralmente e rapidamente senza lasciare nessuna traccia sulla pavimentazione, arrecare danni alla stessa e determinare disturbi o intralcio per la circolazione. Vengono applicati con idoneo adesivo di sicurezza oppure altri sistemi di ancoraggio alla pavimentazione, in modo da evitare distacchi in conseguenza delle sollecitazioni a causa del traffico veicolare.

I segnali orizzontali da usare nell'ambito di cantieri e di lavori stradali sono:

- le strisce longitudinali continue e discontinue per indicare i margini, la separazione dei sensi di marcia e le corsie;
- le strisce trasversali per indicare il punto di arresto nei sensi unici alternati regolati da semafori.

3.8 IMPIEGO DEI DISPOSITIVI PER IL CONTROLLO DELLA VELOCITA'

Il 21 luglio 2017, Il Ministro dell'Interno ha emesso il provvedimento, prot. n. 300/A/5620/17/144/5/20/3 [43], avente ad oggetto: “*Direttiva per garantire un’azione coordinata delle Forze di Polizia per la prevenzione ed il contrasto ai comportamenti che sono le principali cause di incidenti stradali*” per mezzo della quale si prendere atto dell’aumento negli ultimi anni di incidenti stradali con esito mortale, evidenziando la necessità di una più attenta riflessione sulle cause e sulle dinamiche dei sinistri.

Uno degli elementi deterrenti di maggiore efficacia rispetto alle condotte di guida improprie nei cantieri di lavoro è rappresentato dall'utilizzo di strumenti di misura e controllo della velocità abbinati alla presenza o alla semplice immagine della Polizia Stradale.

I sistemi di rilevamento possono essere fissi o mobili ovvero senza la presenza di operatori di polizia (modalità straordinaria) o con la presenza di operatori.

Vi è anche una distinzione tra le modalità di accertamento, le quali si dividono in:

- Dispositivi per l'accertamento della velocità istantanea o puntuale;
- Dispositivi per la velocità media.

Proprio per la loro efficacia, in tutti i cantieri di durata superiore a 2 giorni, dovrà essere previsto l'impiego del Box Autovelox Mobile (Fig.3.24), che sarà posizionato lungo il margine destro rispetto alla prima corsia di transito prossimo alla zona di lavoro.



Figura 3.24: Box Autovelox Mobile

Il suddetto dispositivo deve essere preceduto da un cartello di preavviso quale: “controllo elettronico della velocità”, come rappresentato in Fig.3.25. Tale segnalazione è obbligatoria nel caso in cui avvenga il reale utilizzo del dispositivo da parte della Polizia.



Figura 3.25: Cartelli di preavviso per controllo elettronico della velocità

In abbinamento all'Autovelox appena definito è possibile posizionare un impianto dissuasore con misuratore radar della velocità che verrà posizionato circa 500m prima del Box stesso e sempre all'interno dei restringimenti. Viene riportato a seguire un esempio di dissuasore (Fig. 3.26)



Figura 3.26: Dissuasore con misuratore di velocità

Per le strade di tipo A, come ci si trova nel caso studio, i dispositivi di controllo possono essere sempre adoperati e senza alcuna ricognizione preventiva da parte del prefetto. Il tutto è esteso anche per le strade extraurbane di categoria B ma non per le C e D nelle quali è invece indispensabile il decreto del prefetto.

Altro sistema adibito al controllo della velocità è il Tutor. La differenza sostanziale dal classico autovelox, adibito al rilevamento della velocità al momento del passaggio davanti la fotocamera, è che il sistema tutor rileva la velocità media su un determinato tratto autostradale pari a circa 1500 km di carreggiate autostradali secondo quanto riportato dal sistema della Polizia dello Stato³¹.

Il sistema consiste nel posizionamento di due sistemi di rilevamento della velocità differenti. Il sensore del portale d'ingresso rileva la categoria del veicolo e attiva le telecamere che scattano la fotografia andando a registrare data e ora di passaggio e la stessa operazione viene effettuata dal sensore del portale successivo.

Un ulteriore sistema centrale effettua gli abbinamenti tra i dati registrati dalle telecamere dei due portali, calcolando i tempi di percorrenza di ciascun veicolo. In caso di superamento dei limiti di velocità il sistema interroga in automatico gli archivi della Motorizzazione e gli archivi degli autonoleggi per risalire rispettivamente all'intestatario e al conducente del veicolo. Se la violazione viene accertata dalla Polizia Stradale allora il sistema provvederà alla stesura e stampa del verbale da inviare al trasgressore. Ovviamente, come per qualsiasi controllo della velocità, dovrà essere posto un cartello di preavviso durante il controllo della velocità. (Fig.3.27)



Figura 3.27: Cartello di preavviso in caso di dispositivo Tutor

³¹ Fonte: Polizia dello Stato; sistema tutor - <https://www.poliziadistato.it/articolo/tutor>

3.9 CARATTERISTICHE SUPERFICIALI PAVIMENTAZIONE STRADALE

Sono di particolare importanza le caratteristiche superficiali della pavimentazione, in quanto da esse dipende il grado di adesione tra essa e il materiale costituente la segnaletica, il che incide sulla sua durabilità.

Tra le principali caratteristiche superficiali che influenzano il livello prestazionale di un segnale vanno considerate la macrotestitura della pavimentazione e la suscettività termica del materiale utilizzato per la realizzazione dello strato superficiale della sovrastruttura.

Per ciò che riguarda la macrotestitura va tenuto in considerazione che la segnaletica realizzata su pavimentazione a elevata rugosità superficiale o, con la presenza di fessure che siano più o meno diffuse, manifesta una vita utile inferiore rispetto al caso di applicazione su pavimentazioni “lisce”. Ciò è imputabile alla più elevata percentuale di penetrazione di materiale nei vuoti superficiali e nelle fessure che riduce la quantità effettiva di legante e microsferi disponibili per la riflessione del fascio luminoso portando alla necessità di effettuare manutenzioni più frequenti e una quantità più elevata di pittura utilizzata per la segnaletica. Dal’altro lato, una rugosità più elevata della pavimentazione consente un maggiore legame tra i due elementi (pavimentazione-vernice) aumentando quindi l’adesione tra di essi.

Altro elemento rilevante è come è classificata la pavimentazione in relazione alle modalità di progettazione (rigida, semi-rigida e flessibile) in quanto, una pavimentazione flessibile mostra un livello di suscettibilità termica molto più elevato rispetto alle altre tipologie. Difatti, a temperature superiori ai 50 °C, iniziano a manifestarsi le componenti viscosi del bitume, che permettono di realizzare una vera e propria “termosaldataura” con i materiali utilizzati per la realizzazione della segnaletica orizzontale.

CAPITOLO 4. ANALISI DI UN SINISTRO STRADALE

L'analisi preliminare svolta fino a questo punto sui diversi sistemi di ritenuta stradali è necessaria per porre le basi sull'effettivo scopo della suddetta trattazione, “Analisi di un sinistro stradale con coinvolgimento dei sistemi di ritenuta: cause e interventi”.

4.1 DESCRIZIONE DELL'EVENTO

Durante i primi mesi del 2017 il conducente dell'autocarro percorreva la carreggiata unidirezionale di un tratto autostradale con direttrice di marcia da Milano verso Varese, impegnando la terza corsia da destra (corsia di sorpasso veloce), per cause ancora da confermare, perdeva il controllo del veicolo che volgendo verso sinistra entrava in collisione contro lo spartitraffico costituito da elementi di guardrail.

A seguito dell'urto, di natura modesta, il veicolo deviò notevolmente verso destra essendo l'azione favorita dal sistema di ritenuta, ma amplificata anche da una brusca azione sterzante attuata dal conducente; essa causa un attraversamento diagonale della carreggiata sino a giungere all'interno della piazzola presente al margine della strada, dopo aver effettuato una traiettoria a “esse” allungata. L'autocarro si poneva in senso perpendicolare rispetto all'asse stradale, impattava con la parte latero anteriore destra contro la cuspide metallica posta come elemento di separazione della corsia di emergenza da un varco di servizio di pertinenza della società “Autostrade per l'Italia”.

In conseguenza del violento impatto l'autocarro effettuava una rotazione sull'asse orizzontale, subendo una forte deformazione dei lamierati della cabina e finendo la sua corsa in posizione ribaltata.

Vengono riportate a seguire le immagini (Fig. 4.1, Fig. 4.2) rappresentati il tratto di strada di nostro interesse e la traiettoria percorsa con lo scopo di avere una più chiara visione del sinistro.



Figura 4.1: Luogo del sinistro riportato tramite vista satellitare



Figura 4.2: Traiettoria percorsa dal veicolo prima dell'impatto con la cuspide

Nel tratto in cui si è verifico l'incidente, la carreggiata unidirezionale ha andamento rettilineo, pianeggiante ed è composta da tre corsie di marcia e dalla corsia di emergenza. Il piano stradale è asfaltato e in ottimo stato di manutenzione; al momento dell'incidente, avvenuto verso le ore 15:00, era asciutto con visibilità ottima in ore diurne e traffico non eccessivamente intenso.

Procedendo da sinistra verso destra, la carreggiata è così composta:

- Barriera metallica (guardrail) spartitraffico;
- Linea bianca continua;
- Terza corsia di sorpasso veloce larga 3,6 metri;

- Linea bianca discontinua;
- Seconda corsia di sorpasso larga 3,7 metri;
- Linea bianca discontinua;
- Prima corsia di marcia larga 3,8 metri;
- Linea bianca continua;
- Corsia di emergenza larga 2,8 metri;
- Barriera metallica (guard-rail) di delimitazione della carreggiata.

A seguito dell'ispezione dell'autocarro, emergono ingenti danni che interessano tutta la parte anteriore dell'abitacolo andato completamente distrutto. Lo stato in cui riversava il mezzo è visibile in Fig.4.3 dalla quale di evincono i seguenti danni:

1. Accartocciamiento del tetto con distacco dei montanti anteriori e deformazione dell'abitacolo;
2. Rottura e distacco del parabrezza;
3. Accartocciamiento dei parafranghi anteriori e del cofano motore;
4. Accartocciamiento e asportazione della portiera del lato destro e della porta laterale di carico con introflessioni di consenso sul parafrango posteriore destro;
5. Rottura della fanaleria anteriore della griglia e del paraurti anteriore;
6. Danneggiamento del rivestimento anteriore interno con danni al gruppo motopropulsore che risulta arretrato unitamente alla plancia interna;
7. Introflessione di tutta la fiancata sinistra in conseguenza dell'impatto diretto contro la barriera metallica dello spartitraffico centrale;
8. Sedile doppio dei passeggeri scardinato dalla propria sede e deformato;
9. Danneggiamento del cerchione della ruota anteriore destra con taglio e afflosciamento dello pneumatico e verosimile danneggiamento della relativa sospensione.



Figura 4.3: Panoramica del furgono a seguito dell'urto in due angolazioni differenti

Ciò che distrusse in maniera irreversibile il mezzo fu la cuspide. Il bivio era utilizzato come accesso ad una zona di deposito dell'Autostrade Spa per l'Italia, il quale risultava segnalato per mezzo di un cartello indicante il varco.

I due rami del guard rail, quello lungo il ciglio destro della carreggiata autostradale e quello lungo il ciglio sinistro dell'accesso al deposito, formano un angolo acuto. Esso offre una ridotta superficie in caso di urto, è stato rinforzato mediante tiranti in acciaio uno dei quali ha perforato la lama della struttura, rendendo l'elemento altamente pericoloso se non letale.

Tale conformazione, anziché assorbire parte dell'energia cinetica del veicolo urtante, così come dovrebbero fare tutti i dispositivi di sicurezza stradale, ha prodotto una struttura estremamente rigida in grado di penetrare nell'abitacolo del veicolo.

Vengono riportate nelle due immagini a seguire (Fig.4.4 e Fig. 4.5) i rinforzi posti sulla cuspide in metallo.



Figura 4.4: Dettaglio rinforzo in metallo cuspid



Figura 4.5: cuspid a seguito dell'impatto

L'impatto è risultato devastante proprio per la presenza del dispositivo di sicurezza sopra descritto, poiché, non avendo garantito un buon assorbimento d'energia di impatto e penetrando all'interno dell'abitacolo, ha portato alla morte di uno dei tre occupanti del veicolo e gravi ed estese lesioni agli altri due.

Il deceduto, per effetto del ribaltamento del mezzo, risultava già spinto verso l'esterno trovandosi tra il piano stradale e la parte inferiore della barriera metallica; a causa della penetrazione di quest'ultima all'interno dell'abitacolo, è stata recisa la cintura di sicurezza e lacerati i vestiti indossati dalla vittima.

La persona che occupava il sedile centrale, nella fase di ribaltamento e abbattimento del veicolo sulla cuspide, urtava con la parte superiore del tronco la barriera metallica, riportando inevitabilmente lesioni devastanti al capo.

Nell'impatto del veicolo sulla cuspide (in posizione ribaltata) la parte sinistra dell'abitacolo, occupato dal conducente, si abbatteva sui cavi metallici di collegamento dei montanti. Trovandosi in posizione più elevata rispetto alla barriera metallica, i montanti, evitarono lo schiacciamento completo della parte sinistra dell'abitacolo, ma non impedirono alla plancia di arretrare fino a raggiungere il sedile di guida; in cui si trovava la gamba destra del conducente causandogli la frattura esposta/scomposta di tibia e perone.

Vengono riportate in Fig.3.6 le fasi di ribaltamento del veicolo così da avere una più facile comprensione della dinamica dell'incidente e di quanto la cuspide abbia giocato un ruolo fondamentale.



Figura 4.6: Schema rappresentativo della fase di ribaltamento del furgone e posizione degli occupanti

4.2 DINAMICA DEL SINISTRO

Quando l'autocarro giungeva nei pressi di una diramazione autostradale e occupava la terza corsia di sorpasso veloce, il conducente per cause non accertate, ma verosimilmente riconducibili a una velocità non del tutto adeguata alle condizioni di traffico intenso e alla possibilità di una lacerazione improvvisa dello pneumatico anteriore destro, perdeva il controllo del veicolo. Pertanto, effettuava una prima deviazione alla propria destra fino a portarsi verso la prima corsia di marcia dalla quale iniziava una nuova deviazione verso la propria sinistra, andando ad urtare la barriera metallica centrale.

L'urto iniziale di tipo tangenziale contro il guard-rail avveniva a una velocità compresa tra 130 e 140 km/h, determinata tramite formulazioni in relazione ai filmati acquisiti dalle autorità, e si verificava tra la parte anteriore sinistra del veicolo e uno dei paletti di sostegno della barriera metallica.

Dopo il contatto iniziale, l'automezzo continuava la corsa strisciando con la propria fiancata sinistra contro il guard-rail che si introfletteva per una lunghezza di circa 9,3 metri. Il sistema di ritenuta centrale (spartitraffico) ha quindi esplicato il suo compito così come stabilito dalla legge. Dopo l'impatto contro la barriera metallica centrale, l'automezzo deviava alla propria destra lasciando sul piano stradale numerosi segni di scarrocciamento ovvero traccia lasciata da uno pneumatico soggetto a una brusca deviazione.

Il repentino cambio di traiettoria e una velocità non appropriata al raggio di curvatura, generavano una forza centrifuga che agendo sul centro di massa del veicolo, innescava un momento ribaltante. Poiché l'impatto al suolo avveniva a pochissima distanza dalla cuspide della barriera, continuando la fase di rotazione, il furgone si abbatteva con la parte anteriore della cabina di guida (parabrezza, bordo anteriore del tetto e cofano motore) sulla parte superiore della cuspide che penetrava nell'abitacolo devastando gravemente il sedile dei passeggeri e la plancia del veicolo.

Viene riportata in Fig.4.7 il tracciato del mezzo fino al raggiungimento della cuspide.

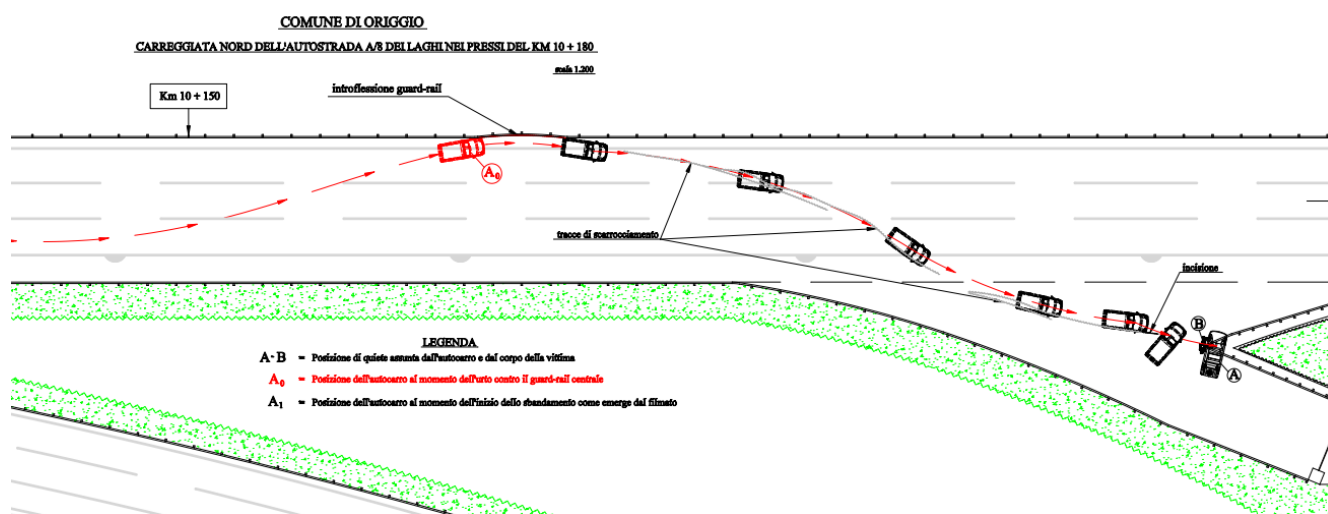


Figura 4.7: Tracciato del mezzo

Le cause che portarono all'iniziale sbandamento del veicolo rimangono ancora non del tutto chiare. Tuttavia tra le ipotesi più accreditate vi è la possibilità che lo pneumatico anteriore destro fosse perforato e che, raggiunta una diminuzione eccessiva di pressione interna abbia portato alla perdita totale del controllo del veicolo. Lo squarcio presente sullo pneumatico è stato riportato nei diversi verbali e rilievi scientifici ed è visibile in Fig. 4.8



Figura 4.8: Pneumatico anteriore destro squarciato

Risulta poco probabile che il danno sia stato causato dallo spartitraffico in quanto il veicolo andò ad urtare contro di esso con il lato sinistro e quindi non più essere avvenuto nessun contatto tra i due in questa prima fase. Tuttavia, risulta molto improbabile che questo sia stato causato dal secondo urto avvenuto con la cuspide poiché il mezzo raggiunse il punto di arresto in posizione ribaltata quindi le ruote risultavano distanti dal veicolo. La foto del ritrovamento del mezzo a seguito dell'urto viene illustrata immediatamente a seguire (Fig.4.9) mettendo in evidenza la posizione dello pneumatico lacerato.



Figura 4.9: Posizione finale del veicolo ribaltato con messa in risalto dello pneumatico lacerato.

Risulta quindi impensabile che le ruote abbiano avuto un urto puntuale con la cuspide.

Altra questione degna di nota è la presenza di dei solchi attorno al cerchione con diametri via via più grandi.

Non potendo attribuire in maniera certa ad un possibile guasto meccanico la causa dell'incidente date le condizioni nelle quali riversava il veicolo e pur non escludendo la possibile negligenza e distrazione del conducente, risulta allora di grande interesse perseguire la strada intrapresa che vede come motivo principale una possibile perforazione dello pneumatico da attribuire a un chiodo (ipotesi più verosimile) o a un qualsiasi elemento contundente, che abbia bucato nel battistrada normale lo pneumatico e gli abbia fatto pian piano perdere pressione. Essendo il tratto di strada che il conducente stava percorrendo diritto questo non ha potuto avvertire la perdita di pressione fino a quando questa non è diventata tale da rendere il mezzo "ingovernabile".

Questa perdita di pressione progressiva risulta in accordo con i cerchi di usura che sono stati riportati.

Ciò nonostante, risultano ancora da chiarire le effettive cause poiché sono ancora numerosi i pareri discordanti tra i vari tecnici.

Trattandosi di un sinistro realmente accaduto e per il quale il procedimento è attualmente in corso, i riferimenti sono stati mantenuti anonimi e di carattere puramente casuale.

CAPITOLO 5. ANALISI E TRATTAZIONE DELLE SOLUZIONI

Il sinistro stradale descritto nel capitolo precedente ci è servito per volgere l'attenzione sulla problematica della sicurezza stradale in prossimità di bivi e svincoli autostradali. Questi dovranno essere trattati con particolare riguardo, non essendo possibile definire delle misure uguali di sicurezza adatte a tutte le casistiche, verranno definiti una serie di accorgimenti e misure generali da seguire e riadattare in ogni singola situazione di rischio che abbia caratteristiche simili a quelle del caso trattato.

Volendo riassumere le caratteristiche della cuspide che ha portato all'aggravarsi di una situazione di elevata criticità, si riscontra che questa:

1. non godeva di alcuna segnaletica appropriata che segnalasse la presenza del bivio dovuto alla presenza, proprio in quell'area, di una zona di deposito materiale di Autostrade per l'Italia (era presente, come dichiarato in sede giudiziaria, soltanto un cartello indicante "varco");
2. non presentava alcun attenuatore d'urto, spesso presente in altre situazioni, in grado di ridurre l'energia di impatto del veivolo con la cuspide;
3. rimaneva il limite sulla velocità massima nazionale di 130 km/h anche in quel tratto autostradale, come se non vi fosse alcuno svincolo o elemento di criticità;
4. manca della presenza di una corsia di rallentamento per l'immissione al deposito, questo implica un necessario rallentamento dei mezzi nelle carreggiate ad "alta velocità" con conseguente aumento rischio incidenti (es. tamponamento).

Queste mancanze e peculiarità del caso analizzato saranno punti di riflessione e studio che porteranno a definire una serie di prescrizioni e misure da adottare per evitare incidenti futuri.

Si provvede ad indicare i punti cardine e a effettuare delle rappresentazioni grafiche di natura qualitativa, che mostrino in maniera pratica e immediata le soluzioni che maggiormente si adattano alle peculiarità dello svincolo autostradale trattato. L'intervento per la messa a norma del bivio autostradale, indipendentemente alle soluzioni sotto elencate, è la realizzazione di una corsia di decelerazione. Data la presenza di una uscita autostradale posta nelle strette vicinanze del deposito, non sarà possibile realizzarne una di estensione adeguata alla velocità del tratto stradale, tuttavia sarà ottenuta una corsia di rallentamento più ampia possibile.

Il software adottato per la riproduzione del bivio descritto nel Cap. 4 di suddetto documento è SketchUp Pro 2022 utilizzato per la modellazione 3D. I nomi utilizzati per la rappresentazione grafica sono esclusivamente di carattere fortuito data la natura estremamente delicata del caso analizzato, non ancora concluso in termini giurudici-amministrativi.

5.1 INTRODUZIONE DI ATTENUATORI D'URTO

Lo studio tecnico che si occupò della trattazione del caso vide come soluzione possibile l'uso di attenuatori d'urto, tale accorgimento se fosse stato preso in considerazione immediatamente dopo la creazione della cuspide, avrebbe potuto ridurre le criticità del bivio così progettato.

L'attenuatore d'urto è progettato per assorbire urti di veicoli leggeri quali automobili e autocarri. Posto in corrispondenza della cuspide e con caratteristiche idonee all'infrastruttura (autostrada A8) nella quale avvenne il sinistro stradale, esso risulterebbe in grado di assorbire buona parte dell'energia del veicolo urtante ma, soprattutto, di evitare l'intrusione della struttura nell'abitacolo del veicolo.

Tali attenuatori sono divisi in categorie, a seconda delle strade nelle quali vengono installati (urbane, extraurbane e autostrade), in questo caso di autostrada e della velocità di potenziale assorbimento.

Essendo la strada progettata per un limite di 130 km/h si definisce la classe dell'attenuatore come P3, definito in accordo con la normativa EN 1317-3 [17].

Segue una fase successiva di definizione del tipo di attenuatore in relazione al livello di contenimento richiesto (cap.2.5.2), il quale è funzione della massa, velocità e inclinazione del veicolo al momento della collisione. Nel caso in esame sarebbe stato opportuno installare un attenuatore d'urto di classe 110 Km/h (circa 30 m/s), in grado di assorbire l'energia cinetica di un veicolo "leggero" avente massa di circa 1500 kg.

La struttura di protezione avrebbe assorbito una energia cinetica dell'ordine di:

$$Ec = mV^2/2 = 1500 * 900/2 = 67500 \text{ KJ}$$

Equazione 7: Energia assorbita da attenuatore

Supponendo che il furgone avesse una massa dell'ordine dei 2000 kg e invertendo la formulazione (8), risulta che la struttura di protezione della cuspide, se installata, sarebbe stata in grado di assorbire una velocità del furgone dell'ordine di:

$$V = \sqrt{(2 * Ec/m)} = \sqrt{2 * 67500 / 2000} = 25,9 \text{ m/s } (\cong 90 \frac{\text{km}}{\text{h}})$$

Equazione 8: Vel. Assorbita

Da questa analisi quindi si andrebbe a disporre un assorbitore di classe TB32 con contenimento normale N2 (Lc=82kJ). Questa soluzione risulta essere la più generale e semplice da seguire nel caso di svincoli autostradali "classici" ovvero adibiti all'uscita autostradale.

Tuttavia, nel caso in analisi, essendo la cuspide posizionata lì per permettere l'uscita verso un deposito, suppone la possibile presenza di mezzi più pesanti, quindi, in caso di incidente, non è sufficiente andare a considerare solo veicoli "leggeri".

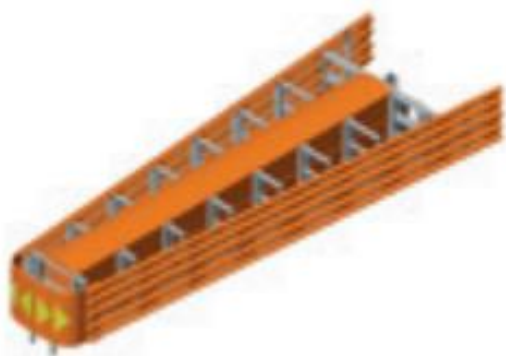
Questa considerazione porta a ridefinire un nuovo livello di contenimento andando a modificare i parametri di partenza.

Prendendo in esame un autocarro rigido (massa ≈ 10000 kg) con velocità di impatto di 70 km/h si ricade in categoria TB42 o TB41 in relazione all'angolo di impatto che si vuole considerare.

Si avrà quindi un livello di contenimento di tipo T3 (con angolo basso).

Per la rilevanza data al dissipatore, essendo la strada di evidente importanza saranno privilegiati nella scelta attenuatori di tipo redirettivo-cinematico così da reindirizzare, fin dove possibile, il mezzo verso il centro della carreggiata. Tali dispositivi sono costituiti da elementi metallici e di plastica collegati tra loro che operano come elementi comprimibili longitudinalmente in grado di assorbire, in modo graduale e senza conseguenze gravi per gli occupanti, valori elevati di energia. Viene riportato in figura 5.1 un esempio di attenuatore adatto alla situazione descritta.

Per l'installazione di questi dispositivi è stata effettuata una ricerca accurata tra le aziende produttrici certificate Europee, essa ha portato alla scelta tra due dispositivi di tipologie differenti ma che afferiscono allo stesso scopo, CCSI e CCSII, vengono rappresentate in Fig. 5.1 e in Fig.5.2³² [44] . Con l'acronimo CCS si intende:” Crash Cushion System”, ovvero un'apparecchiatura (esempio attenuatore d'urto) installata in aree soggette a incidenti come ingressi e uscite di autostrade, incroci e caselli.



CCSI Non Parallelo

Figura 5.1: Attenuatore non parallelo CCSI



CCSII Non Parallelo

Figura 5.2: Attenuatore non parallelo CCSII

Essendo i due dispositivi brevettati per le medesime condizioni di installazione, ovvero per velocità di 130 km/h, la scelta di quale adoperare verterà prevalentemente sulle dimensioni geometriche che le caratterizzano, dovranno difatti essere conformi con gli spazi disponibili nel punto di svincolo.

Vengono riportate nelle figure a seguire (Fig. 5.3, Fig. 5.4 e in Fig. 5.5) i dettagli costruttivi dei due modelli di attenuatori d'urto. Nella prima rappresentazione vengono riportate le dimensioni standard nel dispositivo riportato nella Fig. 5.1, mentre nella seconda quelle del dispositivo di tipo CCSII evidenziando, come a differenza del precedente abbia dimensioni più elevate e quindi richieda spazi di installazione più ampi.

³² Fonte: Catalogo PREALUX S.r.l. sito: <https://prealux.it/prodotti/attenuatori-durto/>

Altro fattore di differenza tra i due è il peso che li caratterizza; la tipologia CCSI mostra un peso nettamente più elevato rispetto alla seconda categoria (2026 kg rispetto a 1608 kg).

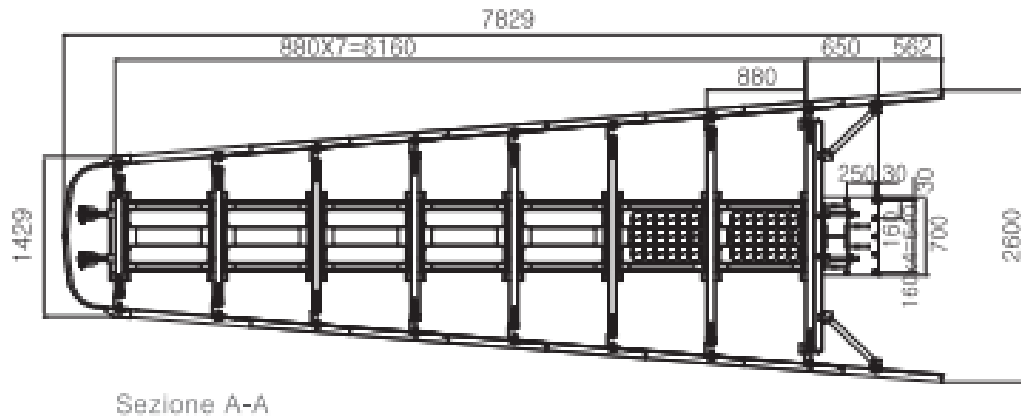


Figura 5.3: Attenuatore CCSI esensione PREALUX S.r.l.

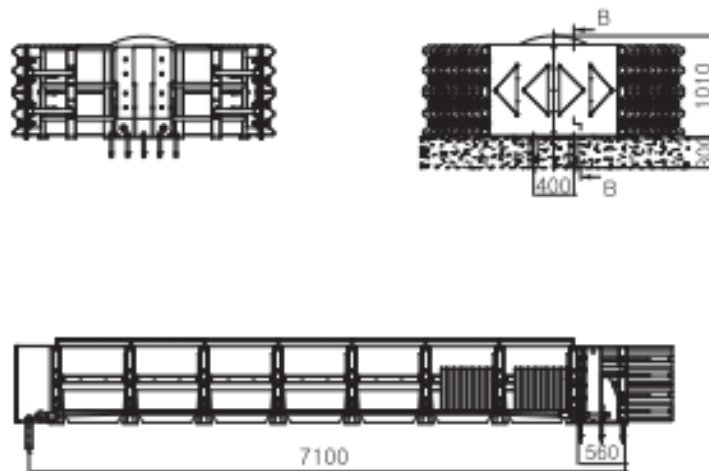


Figura 5.4: Attenuatore CCSI altezza PREALUX S.r.l.

110 Km/h

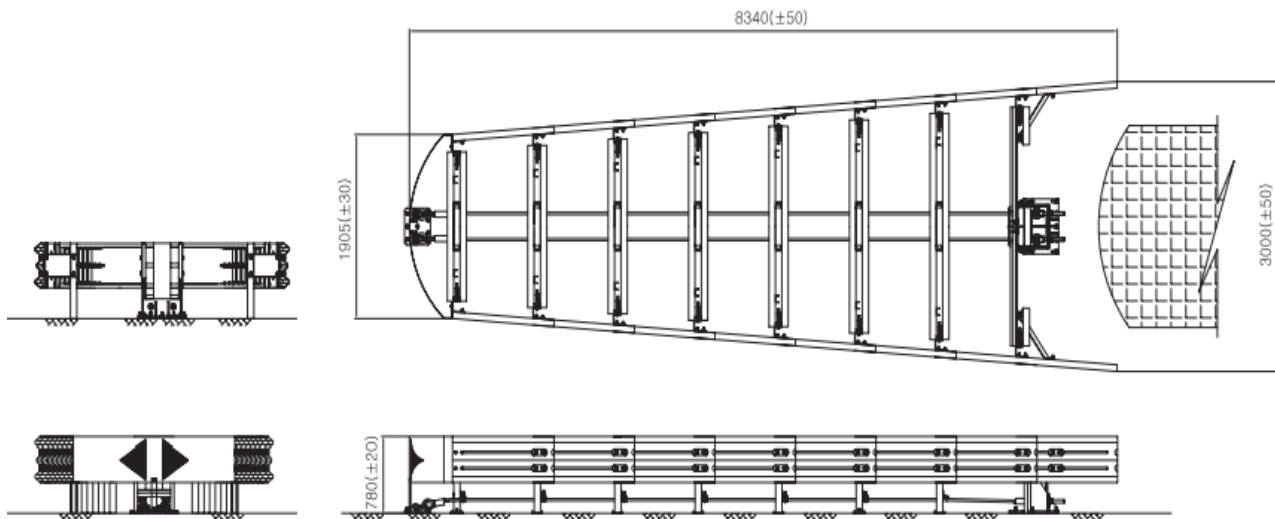


Figura 5.5: Attenuatore d'urto CCSII PREALUX S.r.l.

La cuspidе definitа nel caso studio si trova in corrispondenza di uno svincolo autostradale adibito all'ingresso di mezzi in un area di deposito, si presuppone che lo svincolo sarà soggetto al passaggio veicolare di mezzi pesanti e quindi con un'altezza superiore a quella considerata per le autovetture standard. Conseguentemente, andare a posizionare un dispositivo di sicurezza più alto risulterebbe sicuramente più efficace per un eventuale indirizzamento del mezzo qualora tale veicolo fosse soggetto a sbandamenti. Sulla base di questo ragionamento la scelta verterebbe sulla prima tipologia di attenuatori ovvero la CCSI.

Altro fattore che porta nuovamente a preferire questo dispositivo rispetto al secondo è la minore estensione, essendo lo spazio limitato nel quale è posta la cuspidе analizzata. Non essendo in presenza di un comune svincolo autostradale, non si avranno gli spazi standardizzati tipici delle uscite autostradali, pertanto, non avendo una corsia di preselezione o uno spazio libero elevato per effettuare la manovra di svolta, risulta preferibile adoperare un sistema quanto meno ingombrante possibile.

Qualora si decidesse di realizzare una corsia di decelerazione autostradale essendo questa obbligatoria ai sensi dell'Art. 176 comma 2 del Codice della Strada [45] il secondo fattore di scelta verrebbe meno tuttavia, rimanendo valido il primo criterio di scelta, si decide di adottare anche in questo caso l'attenuatore CCSI.

Per la realizzazione di suddette corsie si ci rifà all'Allegato II *“Condizioni alle quali debbono rispondere le grandi Strade a Traffico Internazionale”*³³. [46] Le corsie di decelerazione comportano una corsia di larghezza variabile denominata "biseau" seguita dalla corsia, propriamente detta, di decelerazione avente larghezza costante che può essere sia parallela e adiacente alla carreggiata dell'autostrada e indipendente da questa.

Il "biseau" deve consentire all'utente di disimpegnarsi progressivamente dalla corrente di traffico principale, senza ridurre sensibilmente la velocità. La lunghezza viene determinata considerando che il periodo di tempo necessario per eseguire la manovra agevolmente è di circa 3,5 secondi. Considerando una velocità di percorrenza per la corsia a traffico lento di 90km/h (25 m/s) si determina la lunghezza del tratto corrispondente di circa 10 m che consente una graduale diminuzione di velocità e un cambiamento di corsia. La lunghezza della corsia di decelerazione si determina propriamente considerando che il tasso di decelerazione dei veicoli è al massimo di 1,5 m/sec². Ipotizzando di dover giungere ad una uscita autostradale con velocità massima stabilita di 40 km/h allora si determina una lunghezza, maggiorata per mezzo di opportuni coefficienti di sicurezza, pari ad 200m.

5.2 SISTEMI DI RINFORZO IN TERRENI POCO CONSISTENTI

Procedendo con l'analisi sui sistemi di ritenuta stradali vengono ora introdotti i sistemi di infissione al terreno dei montanti. Non è necessario considerare esclusivamente nella scelta i guardrail, i quali devono essere adoperati in relazione alle caratteristiche della strada (velocità, mezzi e traffico medio giornaliero, etc.) ma anche del terreno nel quale vengono posizionati.

Vi è la possibilità difatti che dei dispositivi, risultati idonei ad una data strada a seguito di prove d'urto, non risultino poi efficienti nel sito nel quale vengono posti conseguentemente alle scarse caratteristiche meccaniche del terreno. Nasce quindi il ruolo di Progettista dell'installazione come responsabile della verifica delle condizioni al contorno; tale figura era già stata introdotta dal D.M. 223 ma il cui ruolo è stato chiarito e ampliato con l'entrata in vigore del D.M. 2367 [5] emesso nel 2004.

È comunque da sottolineare come il problema legato alle differenze di infissione sia stato a lungo trascurato. Solo a partire dal 2011 con la Circolare del 2010 ma anche come conseguenza di diversi incidenti dovuti proprio alla inadeguatezza dei supporti, si è rivolta la giusta attenzione alle modalità di installazione delle barriere in terreni poco consistenti.

I fabbricanti hanno cominciato ad eseguire prove su diversi supporti, i progettisti hanno iniziato a prevedere opere di consolidamento oppure l'impiego di sistemi alternativi, i Direttori Lavori e i

33

Fonte: https://www.gazzettaufficiale.it/atto/serie_generale/caricaArticolo?art.progressivo=0&art.idArticolo=19&art.versione=1&art.codiceRedazionale=080U0922&art.dataPubblicazioneGazzetta=1981-01-05&art.idGruppo=0&art.idSottoArticolo1=10&art.idSottoArticolo=1&art.flagTipoArticolo=2

Collaudatori a chiedere prove di spinta sia di tipo statico che dinamico per la verifica della portanza dei terreni.

Tra i diversi accorgimenti da adottare vi è la bonifica del terreno anche se questa soluzione non risulta la migliore né in termini economici né in termini di impatto sulla circolazione, poiché richiede cantieri di lunga durata. Per queste ragioni questa prima metodologia non è la più diffusa ma, in alternativa, si procede nella maggior parte dei casi con l'adozione di elementi aggiuntivi che siano in grado di integrare la capacità portante del terreno.

Nell'ultimo decennio sono state studiate tre diverse tipologie di sistemi di ancoraggio andando di volta in volta a migliorare le caratteristiche del precedente dispositivo fino a giungere al sistema di ancoraggio A.To.S.—Anchorage Tool for Soil, brevettato nel 2020 [47]. La funzionalità di A.To.S. è garantita da un tirante rigido infisso e inclinato nel terreno, dietro la barriera verso la pavimentazione, costituito da un profilato privo di sporgenze superficiali e da un attacco rigido con il paletto.³⁴ Nella Fig. 5.6 viene rappresentata la modalità di ancoraggio appena descritta e ripresa da Autostrade per l'Italia.

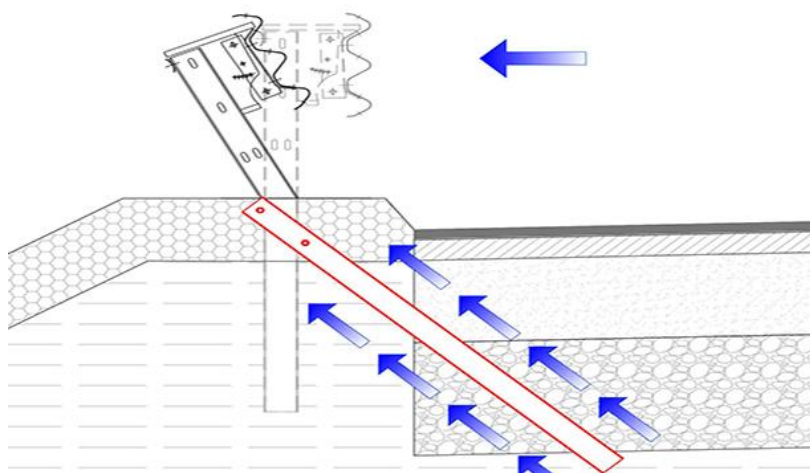


Figura 5.6: Schema di funzionamento del modello A.To.S.

Non richiedendo lo smontaggio di nessuna parte della barriera ed è installabile dalla sede stradale senza alcuna interferenza con l'infrastruttura, si ottiene il superamento di tutti i problemi emersi nei due sistemi precedenti ed è attualmente l'unico applicato in maniera intensiva.

Per queste ragioni è possibile ipotizzare l'utilizzo dei suddetti dispositivi di ancoraggio in modo da aumentare la resistenza delle barriere garantendo un maggiore supporto in caso di impatto del veicolo.

³⁴Fonte: Tecnologie per l'ancoraggio delle barriere bordo laterale - Strade & Autostrade Online (stradeeautostrade.it)

5.3 SEGNALETICA PER DESCRIZIONE DEL BIVIO

Ricordando che l'obiettivo del progetto di segnalamento è quello di fornire agli utenti, con il dovuto preavviso, informazioni precise e puntuali. Il riconoscimento immediato della segnaletica, la corretta ubicazione dei segnali verticali e la guida ottica fornita dalla segnaletica orizzontale sono tre elementi essenziali per garantire la sicurezza della circolazione.

L'ubicazione e la distanza da un segnale rispetto al successivo varierà in relazione alla strada nella quale vengono posti essendo strettamente legati alla velocità di percorrenza; allo stesso modo, le loro dimensioni e illuminazioni varieranno in funzione alle condizioni ambientali esterne.

In particolare, in relazione al caso studio viene pensato un progetto di segnalamento allo svincolo del deposito posto subito dopo un'uscita classica autostradale. La risoluzione verrà ricercata in modo conforme alle prescrizioni del Codice della Strada, evidenziandone le criticità operative e proponendo soluzioni alternative.

Ciò che sta alla base della realizzazione della segnaletica è che questa risulti di facile lettura e credibile. Una difficile lettura del segnale infatti, comporta aumenti dei tempi di reazione dell'utente, in particolar modo se in presenza di condizioni complesse; indicazioni stradali poco credibili, come pure la mancata manutenzione costante e quindi il deterioramento dei segnali che ne rendono difficoltosa la lettura, producono nell'utente una scarsa considerazione del rispetto dei regolamenti.

Ovviamente, con il termine segnaletica non si considera solo la segnaletica verticale ma anche quella orizzontale. L'insieme delle due, coordinate e coerenti alla situazione nella quale si trovano, spingono il conducente a seguire determinate manovre e a seguire tracciati specifici.

Ricordando inoltre che il caso studio trattato nel capitolo 4 del sopranominato documento, è il punto di patenza per svolgere una trattazione completa di tutti gli interventi che possono portare ad un aumento generale della sicurezza in quei punti critici, cercando di definire quale sarebbe stata la segnaletica necessaria per quella tipologia di strada.

Analizzando la velocità massima di percorrenza, pari a 130 km/h, e la particolare situazione nella quale riversa il caso studio ovvero quella di vedere due svincoli posti a distanza ravvicinata.

Avere due svincoli ravvicinati è un fattore non indifferente in quanto porta ad un aumento di segnaletica non indifferente all'interno di una stessa area, con il rischio se non dovesse risultare appropriata di aumentare l'indecisione e l'insicurezza del guidatore, portandolo a compiere manovre non adatte al contesto nel quale si trova.

Saranno svolte due analisi sulla tipologia di segnaletica verticale e orizzontale da adottare nel caso di svincolo autostradale.

5.4 SEGNALETICA VERTICALE

Con il termine “segnaletica verticale” si intendono numerose categorie di segnali, disposti verticalmente, distinti in relazione alle diverse indicazioni che trasferiscono ai conducenti. Attualmente è possibile raggruppare tutti i dispositivi di segnaletica in quattro classi:

- 1 segnali di pericolo, i quali possiedono una forma triangolare, indicano quale tipologia di rischio si incorre;
- 2 segnali di prescrizione, la cui forma è rotonda, e determinano un obbligo o un divieto;
- 3 segnali di indicazione, i quali forniscono informazioni su direzioni e strade;
- 4 pannelli integrativi, che sono collocati combinandone la posizione ad un altro tipo di segnale, ed hanno il ruolo di completarne le informazioni andando a formare i così denominati: “segnali composti”.

Di particolare interesse per la risoluzione del caso oggetto di analisi sono i segnali di indicazione, i quali forniscono agli utenti della strada, informazioni indispensabili per la corretta e sicura circolazione e sono adoperati per l'individuazione di itinerari, località, servizi ed impianti stradali. A questa categoria di segnali appartengono innumerevoli cartelli quali: di preavviso, direzione, conferma, identificazione stradale, itinerario, etc.

Tutti i segnali indicati dovranno comunque rispettare i requisiti di coerenza, congruenza e omogeneità secondo quanto riportato dall'articolo 39 del Codice Stradale [48]. Nel rispetto dei suddetti requisiti verranno distinti ulteriormente tramite colorazioni dello sfondo che sarà differente in modo da associare una determinata tipologia stradale per ciascuna colorazione.

Nel caso oggetto di studio ci si ritrova in ambito autostradale e quindi il colore adoperato per tutta la cartellonistica sarà di colore Verde.

La progettazione dei segnali da posizionare nel tratto autostradale di interesse dovrà avvenire nel rispetto del criterio di essenzialità, sempre ai fini della sicurezza e fluidità della circolazione.

Si riportano a seguire i criteri fondamentali per la progettazione definiti dall'Art. 39 del C.S.

1. *segnalare prima delle intersezioni la località raggiungibile tramite ciascun ramo in modo da realizzare un'adeguata preselezione e canalizzazione delle diverse correnti veicolari;*
2. *confermare nelle intersezioni le direzioni da prendere per raggiungere le località indicate dai segnali di cui al punto 1;*
3. *segnalare le manovre consentite nelle intersezioni;*
4. *confermare, dopo l'intersezione, le destinazioni raggiungibili.*

Inoltre, qualora le indicazioni riportate su un unico cartello fossero di numero elevato, sarebbe possibile ridurre al minimo le prescrizioni andando ad adoperare il solo simbolo (non accompagnato da alcuna dicitura) secondo quanto dichiarato dal Codice Autostradale: è possibile, infatti, che in situazioni come quelle trattate nello svincolo analizzato (posto a seguito di un'uscita autostradale ad una distanza molto ridotta) si presenti, altrimenti, un eccessivo appesantimento della segnaletica adoperata. Per la medesima ragione, per il Codice Stradale non è possibile

posizionare più intersezioni sullo stesso preavviso salvo che non si trovino a meno di 250 m l'una dall'altra, o non sia possibile rispettare le distanze di cui all'articolo 126 [49].

Per la realizzazione dei cartelli autostradali il front da adoperare sarà:

- l'uso di caratteri maiuscoli per la composizione di nomi propri di regioni, province, città, centri abitati, municipi, frazioni o villaggi mentre,
- i caratteri minuscoli per la composizione dei nomi comuni riguardanti i punti di pubblico interesse urbano come:
 - strade urbane ed extraurbane;
 - stazioni, porti, aeroporti, centro città, etc.;
 - ogni altra iscrizione di natura differente da quella dei nomi propri, comprese quelle dei pannelli integrativi.

Per detti segnali occorre assicurare uno spazio di avvistamento "d" in funzione della velocità locale predominante, conformemente ai valori espressi in Tab.5.1:

VELOCITA' [km/h]	DISTANZA d [m]
130	250
110	200
90	170
70	140
50	100

Tabella 5.1: Tabella velocità-distanza segnaletica di indicazione

Tali valori sono stati ripresi dal Art.127 comma 2 (e successivi) del Codice della Strada [48]e sono validi in tutte le situazioni relative a tratti autostradali, fatta eccezione per le corsie di decelerazione per le quali le distanze saranno notevolmente ridotte a partire dal punto di inizio manovra di svolta. In questo caso con "d" si indicherà la distanza dal punto in cui inizia la manovra di svolta (inizio della corsia di decelerazione, per le intersezioni che ne sono dotate) fino al punto di affissione del segnale conformemente ai valori espressi nella seguente Tab. 5.2:

VELOCITA' [km/h]	DISTANZA d [m]
130	50
110	40
90	30

Tabella 5.2: Tabella velocità-distanza per corsie di decelerazione

Nel caso di bivio autostradale ci si dovrà riferire ad entrambe le prescrizioni: le prime verranno adoperate per segnalarne la posizione, distanza e l'uscita mentre le seconde verranno adoperate per indicare la traiettoria e velocità da adottare durante la manovra di svolta.

Estendendo anche la trattazione a diverse tipologie di svincoli autostradali è necessario considerare la possibile presenza di zone di intersezione, in cui si intersecano due o più correnti di traffico. In questi casi i segnali di direzione di cui all'articolo 128, all'interno dell'area di intersezione, devono essere disposti con orientamento tale da essere perfettamente visibili dalla corrente di traffico; a seconda della necessità, nei punti più opportuni tra i quali, sulla soglia dell'intersezione, su apposite isole spartitraffico o al limite di uscita dell'intersezione.

Tra i segnali di indicazione gioca un ruolo rilevante la segnaletica di preavviso la quale si divide in due magro categorie: segnali di preselezione e preavvisi di intersezione.

Secondo quanto riportato dall'Art. 127 del C.S.[48], i segnali di preavviso di intersezione hanno forma rettangolare e contengono lo schema dell'intersezione, realizzato mediante frecce con spessore più o meno differente in relazione alla geometria e all'importanza delle strade, con i nomi delle località raggiungibili attraverso i vari rami dell'intersezione. In Fig. 5.7 viene riportato un esempio.



Figura 5.7: Segnale di preavviso

Per ciascuna freccia direzionale dovrà essere riportate, laddove possibile, il nome di una sola località o al più un numero limitato di nomi.

Naturalmente i segnali indispensabili per una buona comunicazione al conducente non sono solo quelli appena descritti ma vi sono anche altre categorie quali: di progressiva distanziometrica, di itinerario, di conferma. Con il primo si intendono tutti i segnali adibiti ad indicare le distanze tra il punto nel quale vengono posizionati e l'uscita autostradale più vicina; hanno dimensioni standardizzate e possono indicare la distanza in chilometri o in ettometri. Nelle figure a seguire (Fig.5.8) vengono riportati degli esempi con annesse dimensioni riprese dall' Art. 129. - Segnali di identificazione strade e progressive distanziometriche (art. 39 C.s.)[48].



Figura 5.8: Segnale di progressiva distanziometrica con annesse dimensioni

Le altezze delle lettere e delle cifre dei simboli non devono essere inferiore a 8 cm sui segnali di direzione e, negli altri casi, di dimensioni adeguate e proporzionate a quelle del segnale ed alla distanza di leggibilità necessaria.

Per quanto concerne i segnali di itinerario, tipici in autostrade e strade extraurbane principali, vengono posti prima di ogni uscita per segnalare le località secondarie, i punti di interesse pubblico, turistico o geografico raggiungibili attraverso la viabilità ordinaria dall'uscita stessa. I segnali di itinerario non devono contenere più di cinque righe di iscrizioni, quelle relative a località urbane, turistiche o geografiche devono essere inserite all'interno di inserti aventi il colore specifico a norma dell'articolo 78 del Codice Stradale. Viene riportata a seguire un esempio di segnale di itinerario ripreso dall'Art. 130. - Segnale di itinerario (art. 39 C.s.) (Fig. 5.9).



Figura 5.9: Segnale di itinerario

Si riportano infine i segnali di conferma ampiamente descritti dall' Art. 132. - Segnali di conferma (art. 39 C.s.), che possono essere posti: sulle strade di uscita dalle principali località o dopo attraversamenti di intersezioni complesse nelle posizioni più idonee per evitare errori di percorso in caso di distrazione o scarsa visibilità del tratto di percorrenza autostradale. Sulle autostrade e sulle strade extraurbane principali, il segnale di conferma è posto a circa 500 m dopo la fine delle corsie di accelerazione.

In questi segnali possono essere presenti più nomi di diverse località con relative distanza espressa in chilometri e disposte in ordine crescente dall'alto verso il basso. (Fig. 5.10)



Figura 5.10 Segnale di conferma

Volendo volgere l'attenzione non più sui segnali verticali ma sulle loro metodologie di infissione, risulta necessario rifarsi, per una corretta installazione, all'Art. 81. - Installazione dei segnali verticali (art. 39 C.s.). I segnali verticali sono installati di norma sul lato destro della strada, quando è necessario per motivi di sicurezza come previsto dalle norme specifiche relative alle singole categorie di segnali, possono essere ripetuti sul lato sinistro posizionandoli sulle isole spartitraffico o al di sopra della carreggiata.

I segnali da ubicare sul lato della sede stradale (segnali laterali) devono avere il bordo verticale interno posto ad una distanza non inferiore ai 0,30 m e non superiore ai 1,00 m dal bordo esterno della banchina. Per quanto riguarda i sostegni verticali dei segnali devono essere collocati a distanza non inferiore a 0,50 m dalla banchina stessa e, qualora si fosse in presenza di barriere

comi come accade per tutte le situazioni autostradali, i sostegni devono essere ubicati all'esterno e a ridosso delle barriere medesime, purché non si determinino sporgenze rispetto ad stesse.

L'altezza minima dei segnali laterali (misurata dal bordo inferiore del cartello o del pannello integrativo più basso dal piano orizzontale tangente al punto più alto della carreggiata in quella sezione) è di 0,60 m e la massima è di 2,20 m; per i segnali collocati al di sopra della carreggiata la distanza minima da essa è di 5,10 m. Per quest'ultima tipologia di installazione (sopra la carreggiata) è necessario definire anche l'inclinazione dei cartelli in funzione della pendenza del tratto nel quale vengono posizionati; di norma, detta inclinazione sulle strade pianeggianti è di 3° circa verso il lato da cui provengono i veicoli. In Fig. 5.11 viene riportato uno schema rappresentante la situazione sopra descritta e ripreso dall'Art. 81. - Installazione dei segnali verticali (art. 39 C.s.) comma 12.

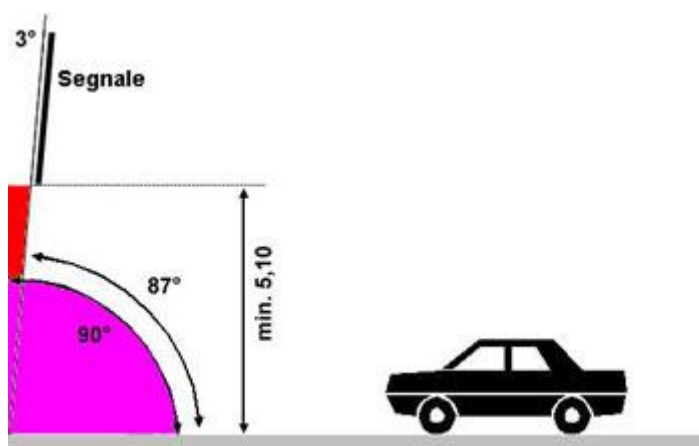


Figura 5.11: Schema di installazione segnaletica verticale su carreggiata

La disposizione planimetrica dei segnali disposti lateralmente vede come angolo di inclinazione per strade in rettilineo e pianeggianti un angolo di 93° . Si provvede a fornire uno schema rappresentativo ripreso dall'Art.81 schema II.B (Fig. 5.12)

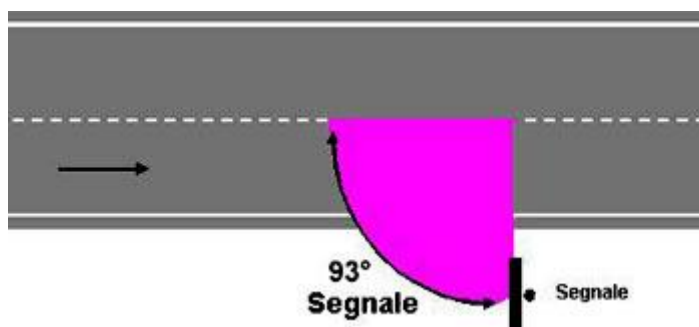


Figura 5.12: Schema di installazione segnaletica verticale ai lati della carreggiata

Pur essendo presenti diversi schemi di installazione con diverse inclinazioni e disposizioni, si è scelto di riportare esclusivamente gli schemi II.A e II.B essendo quelli di interesse per il caso studio. Si ricorda infatti che il tratto autostradale di interesse è caratterizzato da un tracciato rettilineo e pianeggiante.

5.5 SEGNALETICA ORIZZONTALE

Per il corretto posizionamento della segnaletica orizzontale ci si riferisce all'Art. 40 del Codice della Strada [50]. Secondo quanto riportato dall'Art. 137. - Disposizioni generali sui segnali orizzontali (art. 40 C.s.), dal quale si ha che:

- tutti i segnali orizzontali devono essere realizzati con materiali tali da renderli visibili sia di giorno che di notte, anche in presenza di pioggia o con fondo stradale bagnato; nei casi di elevata frequenza di condizioni atmosferiche avverse possono essere utilizzati materiali particolari;
- i segnali orizzontali devono essere realizzati con materiali antisdrucchiolevoli e non devono sporgere più di 3 mm dal piano della pavimentazione. In caso di strisce longitudinali continue realizzate con materie plastiche, a partire da spessori di strato di 1,5 mm, il deflusso dell'acqua deve essere garantito mediante interruzioni delle stesse;
- i colori dei segnali orizzontali sono bianco, giallo, azzurro o giallo alternato con il nero;
- i segnali orizzontali devono essere mantenuti sempre efficienti.

Definite le prerogative base della segnaletica orizzontale, si prosegue con la descrizione delle diverse strisce longitudinali che devono essere adottate per la realizzazione di una corretta segnaletica relativa al caso studio e, più in generale, alle situazioni autostradali con presenza di svincolo. Esse servono per separare i sensi di marcia o le corsie di marcia e/o per delimitare la carreggiata andando quindi ad incanalare i veicoli verso determinate direzioni; la larghezza minima delle strisce longitudinali, escluse quelle di margine, è di 15 cm per le autostrade e per le strade extraurbane principali. È possibile suddividerle in:

- strisce di separazione dei sensi di marcia;
- strisce di corsia;
- strisce di margine della carreggiata;
- strisce di raccordo;
- strisce di guida sulle intersezioni

Le strisce longitudinali possono essere continue o discontinue (come riportato in Fig 5.13) e le lunghezze dei tratti e degli intervalli delle strisce discontinue, nei rettilinei, sono stabilite nella seguente Tab. 5.3 ripresa dall' Art. 138. - Strisce longitudinali (art. 40 C.s.) comma 3, mentre in curva gli intervalli delle strisce di tipo "a" e "b" descritte in tabella possono essere ridotti in funzione dei raggi di curvatura fino alla lunghezza del tratto.

TIPO DI STRISCIA	TRATTO [m]	INTERVALLO	AMBITO DI APPLICAZIONE
A	4,5	7,5	Per separazione dei sensi di marcia e delle corsie di marcia nei tratti con velocità di progetto superiore a 110km/h
B	3,0	4,5	Per separazione dei sensi di marcia e delle corsie di marcia nei tratti con velocità di progetto tra 50 e 110km/h
C	3,0	3,0	Per separazione dei sensi di marcia e delle corsie di marcia nei tratti con velocità di progetto non superiore a 50km/h o in galleria
D	4,5	1,5	Per strisce di preavviso dell'approssimarsi di una striscia continua
E	3,0	3,0	Per delimitare le corsie di accelerazione e di decelerazione
F	1,0	1,0	Per strisce di margine, per interruzione di linee continue in corrispondenza di accessi laterali o di passi carrabili
G	1,0	1,5	Per strisce di guida sulle intersezioni
H	4,5	3,0	Per strisce di separazione delle corsie reversibili

Tabella 5.3: Tipologie strisce longitudinali con intervalli e ambiti di applicabilità

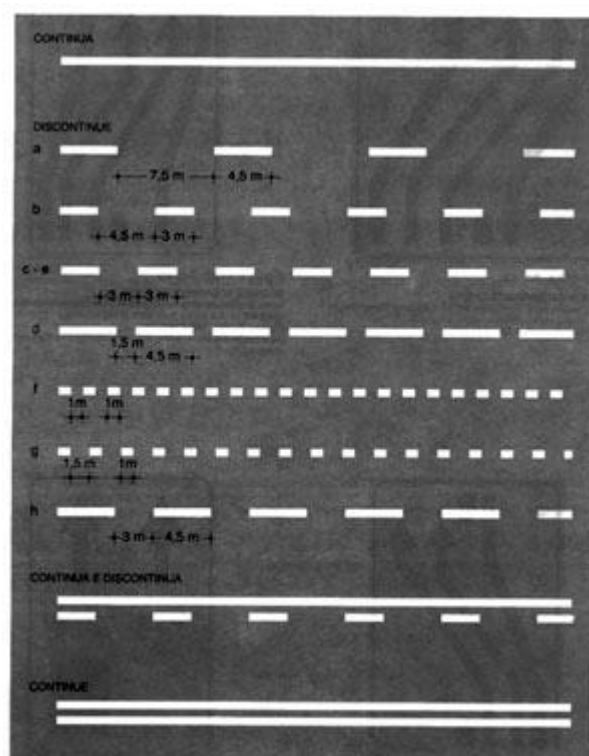


Figura 5.13: Rappresentazione tipologia strisce longitudinali

La separazione dei sensi di marcia si realizza mediante una o due strisce longitudinali affiancate di colore bianco e di uguale larghezza con una distanza tra le due strisce affiancate che deve essere non inferiore alla larghezza di una di esse; tali strisce possono essere continue, discontinue o alternate in relazione al tratto di strada nelle quali vengono poste. Non essendo presenti in tracciati autostradali queste tipologie di strisce longitudinali si sceglie di non approfondire ulteriormente la normativa e le modalità di applicazione che le regolano e di trattare invece con maggiore interesse strisce di corsia, di margine, di raccordo.

Per quanto concerne le strisce di corsia, sono normate dal Codice della Strada secondo l'Art. 140. - Strisce di corsia (art. 40 C.s.) e vengono adibite a la separazione tra i diversi moduli di corsia essendo questi di diverse dimensioni in relazione alle strade e alle condizioni di spazio; il modulo va scelto tra i seguenti valori: 2,75 m - 3 m - 3,25 m - 3,5 m - 3,75 (i valori sono invece compresi tra 2 e 3,5 m per le corsie di emergenza). Per le corsie autostradali in Italia si adotta una larghezza di 3,5 m (minore rispetto a quella adottata in altri Stati dell'EU quali, per esempio, la Germania che vede una larghezza di 3,75m).

Per le strisce di margine ci si rifà all'Articolo 141. - Strisce di margine della carreggiata e possono essere sia continue che discontinue; sono continue in corrispondenza delle corsie di emergenza e delle banchine e esse possono essere realizzate nei tratti di strada in cui vige il divieto di sosta mentre sono discontinue in corrispondenza di una strada con obbligo di dare precedenza, di

diramazioni, di corsie di accelerazione e decelerazione, di piazzole o zone di sosta: in Fig.5.14 vengono riportate una serie di esempi ripresi dall'articolo sopracitato.

La larghezza minima delle strisce di margine è di 25 cm per le autostrade e le strade extraurbane principali, ad eccezione delle rampe, di 15 cm per le rampe delle autostrade e delle strade extraurbane principali.

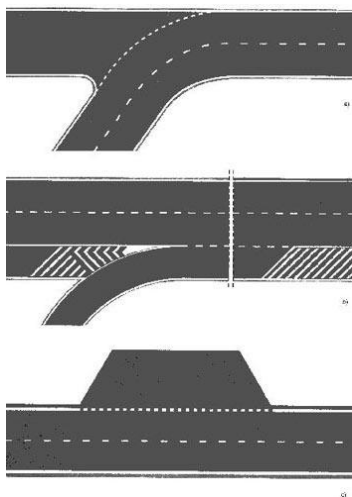


Figura 5.14: Strisce di margine della carreggiata

Le strisce di margine delle autostrade e delle strade extraurbane principali, secondo quanto stabilito dall'Art.141 comma 5, nelle zone di nebbia o in quelle in cui si verificano frequenti condizioni atmosferiche avverse, possono essere dotate di elementi in rilievo che producono un effetto sonoro o inducono una vibrazione sul veicolo (Cap 3.7 del suddetto documento) per avvertire il conducente della sua posizione rispetto al margine della carreggiata; tale accorgimento può essere adottato tutte le volte che sia ritenuto necessario. In tal caso lo spessore della striscia, compresi gli elementi in rilievo, può raggiungere anche i 6 mm.

Sia i materiali da utilizzare per la costruzione degli elementi a rilievo, che il profilo degli stessi, sono soggetti ad approvazione da parte del Ministero dei lavori pubblici - Ispettorato generale per la circolazione e la sicurezza stradale.

Si riportano infine le prescrizioni relative alle strisce di raccordo, utili ai fini del caso studio essendo queste disposte sempre in prossimità di svincoli autostradali, in corsie di uscita o immissione autostradale. Esse, così come definite dall' Art. 142. - Strisce di raccordo (art. 40 C.s.), sono strisce continue oblique di colore bianco e vanno usate in dipendenza di variazioni della larghezza della carreggiata utilizzabile dal traffico, o delle corsie. L'inclinazione delle linee di raccordo rispetto all'asse stradale non deve superare il 2% per le autostrade e, nel caso venissero utilizzate per far divergere il traffico da ostacoli o isole posti entro la carreggiata, devono essere realizzate secondo quanto riportato in Fig.5.15, tratta dal Codice della Strada.

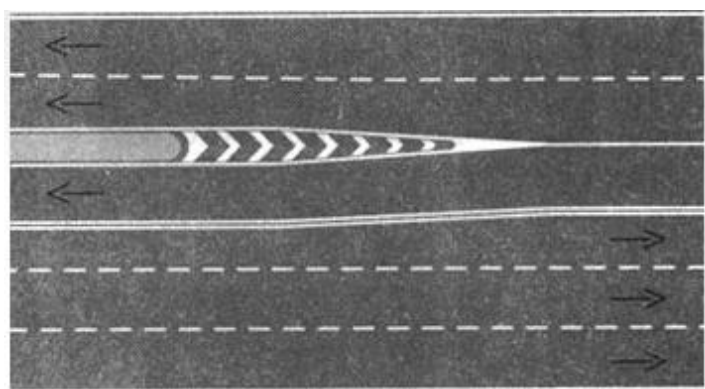


Figura 5.15: Strisce di raccordo

Trattati questi primi punti cardine per la messa in sicurezza degli svincoli autostradali è possibile realizzare una prima rappresentazione grafica di dettaglio della cuspide e della segnaletica posizionata correttamente (sia in termini di dimensioni che di indicazioni). Le immagini riportate in Fig. 5.16 sono realizzate per mezzo del software SkertchUp, mostrano una sostanziale modifica del raggio di curvatura della cuspide, un corretto uso della segnaletica e dell'attenuatore. Il raggio sarà più ampio, non saranno presenti rinforzi con barre di metallo, l'attenuatore sarà quello definito nel capitolo 5.1 e sarà aggiunta, seppur di estensione ridotta data la mancanza di spazio, una corsia di decelerazione.

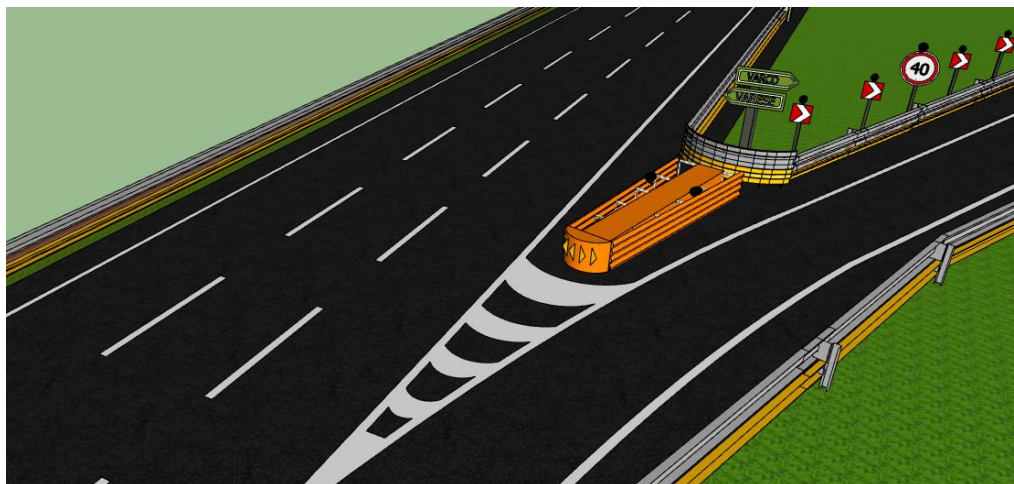


Figura 5.16: Rappresentazione 3D di cuspidi realizzata correttamente

5.6 POSIZIONAMENTO DI SEGNALI COMPLEMENTARI

Ripercorrendo il percorso tracciato fino a questo punto, si vuole in questa fase riportare all'attenzione un particolare tipo di segnaletica descritta nel capitolo 3 presente documento, ovvero quella di carattere complementare.

L'interesse andrà a focalizzarsi su una particolare categoria atta a delineare i tracciati e i confini di cantieri, depositi e percorsi da seguire, cioè i delineatori flessibili.

Questa tipologia di segnaletica è adoperata per delimitare i sensi di marcia opposti, contigui, oppure paralleli, oltre che per confinare zone di lavoro di durata superiore ai due giorni, ed è impiegata in forme lamellari o cilindriche costituite da materiali flessibili quali gomma o plastica resistente agli urti e agli schiacciamenti dovuti al passaggio dei veicoli: tale materiale consente al dispositivo di riprendere la forma iniziale, se investito da veicoli in transito, senza che si distacchi dal terreno. La base di ancoraggio, dotata di una configurazione tale da ottenere la massima aderenza con il piano stradale attraverso l'applicazione di colle speciali o chiodi, deve essere difatti incollabile o fissabile alla pavimentazione. L'altezza sarà compresa tra 70 e 100 cm ma non si escludono utilizzi di delineatori con altezza minima di 50 cm. Si riporta una delle diverse tipologie di delineatori in Fig. 5.17 e una ulteriore del loro utilizzo in caso di cantiere stradale in Fig. 5.18.



Figura 5.17: Delineatore flessibile per cantieri



Figura 5.18: Rappresentazione utilizzo di delineatori flessibili

Le modalità di installazione di questi dispositivi segue quanto detto dal Regolamento Art. 42³⁵ [51], il quale impone che vengano installati ad intervalli costanti differenti in funzione alle situazioni e tratti stradali nei quali ci si trova, evitando installazioni saltuarie e usando lo stesso tipo di delineatore.

I delineatori devono essere spazati di una distanza costante in rettilineo, con un massimo di 12 m, e di 5 metri in caso di curvatura.. Gli intervalli di posa devono comunque essere il più possibile uniformi sullo stesso tratto di strada, in modo da costituire una guida ottica omogenea.

È possibile ipotizzare il loro utilizzo in zone di svincoli autostradali e, più in generale, in tutte le zone nelle quali vi è la scelta da parte dei conducenti della corsia nella quale immettersi. Applicare dei dispositivi come quelli appena citati inviterebbe il guidatore a decelerare per non finire sopra i divisori che, seppur flessibili, porterebbero al danneggiamento del mezzo: di conseguenza, si avrebbe una maggiore tendenza ad immettersi nella corsia di interesse, che nel caso studio è uno svincolo autostradale, portando conseguentemente ad una diminuzione il rischio di scontro con la cuspidi ad elevate velocità.

È opportuno dotare i delineatori di appositi sistemi retroriflettenti per garantire il loro avvistamento in qualunque momento della giornata (notte, nebbia, pioggia, etc.). Le bande bianche retroriflettenti vengono alternate ad altre di colore rosso con dimensioni standardizzate.

Riferendosi al caso studio, per poi estendere la risoluzione a tutte le situazioni con delle analogie a quella trattata, bisogna tener conto dell'assenza della corsia di preselezione essendo lo svio autostradale in questione realizzato per un cantiere di deposito. Tale situazione è da definirsi come del tutto singolare difatti, per rendere uno svincolo sicuro, dovrebbe essere sempre garantita una corsia di imbocco all'uscita di lunghezza dipendente dalla massima velocità ammissibile sul tratto autostradale (amplificata per mezzo dell'utilizzo di un opportuno fattore di sicurezza), al fine di permettere una decelerazione graduale senza portare alcun intralcio alla viabilità delle altre corsie.

³⁵ Sito ACI: <https://www.aci.it/i-servizi/normative/codice-della-strada/titolo-ii-della-costruzione-e-tutela-delle-strade/art-42-segnali-complementari/regolamento-art-42.html>

Se si decidesse di lasciare lo spazio per effettuare le manovre di svolta invariato, ciò implicherebbe il dover adoperare un numero estremamente limitato di segnali complementari per mancanza di spazio sufficiente.

Diversa sarebbe stata la trattazione se, al posto di un cantiere di questo tipo, ci si fosse trovati in una situazione di uscita autostradale standard costituita quindi da una corsia di preselezione di circa 200m: in una situazione di questo tipo sarebbe stato possibile inserire un numero maggiore di dispositivi divisorii così da implementarne l'efficienza.

Nelle tavole riportate nel capitolo 3.5.1 vengono indicate le modalità di apposizione dei suddetti dispositivi, visibile in Fig.3.12 e in Fig.3.13. Tra le soluzioni proposte in termini progettuali si sceglie di non limitare l'analisi allo svincolo oggetto di studio preliminare (ritenendolo rappresentativo di un caso particolare) ma di analizzare anche la situazione ricorrente di svincolo autostradale realizzato secondo le prescrizioni del D.M. 6792/2001 [27], in modo da pervenire a un ripristino del livello della sicurezza in fase di svolta e decelerazione relativamente a situazioni di più ampia applicabilità pratica e occorrenza reale.

La spaziatura tra i diversi delineatori può essere definita andando a ricercare, tra le schede segnaletiche per cantieri temporanei mobili, quella adottata in situazioni che presentano delle analogie con il caso trattato; in una fase successiva, si mira a estendere tale schema a tutte le varie casistiche ricordando di cambiare la spaziatura in funzione alla velocità attesa e al raggio di curvatura. Si riportano in Fig. 5.19 la Tab.1c degli schemi segnaletici per autostrade a tre carreggiate autostradali per cantieri di lunga durata, situazione individuata come maggiormente attinente al caso studio.

Come visibile e anticipato in precedenza, viene scelta una spaziatura di circa 12 m intervallati da segnali di obbligo. Nel caso in esame si considererà soltanto l'applicazione dei delineatori flessibili senza ulteriori segnali posti sulla pavimentazione stradale.

L'altezza che verrà adoperata sarà di 50 cm: tale scelta progettuale si è basata su attente analisi effettuate nei riguardi di situazioni con caratteristiche simili a quelle del caso studio. Nelle suddette casistiche si scelto di installare dei delineatori ad altezza costante lungo tutto il tracciato e variabile da zona a zona in dipendenza dalla velocità di progetto.

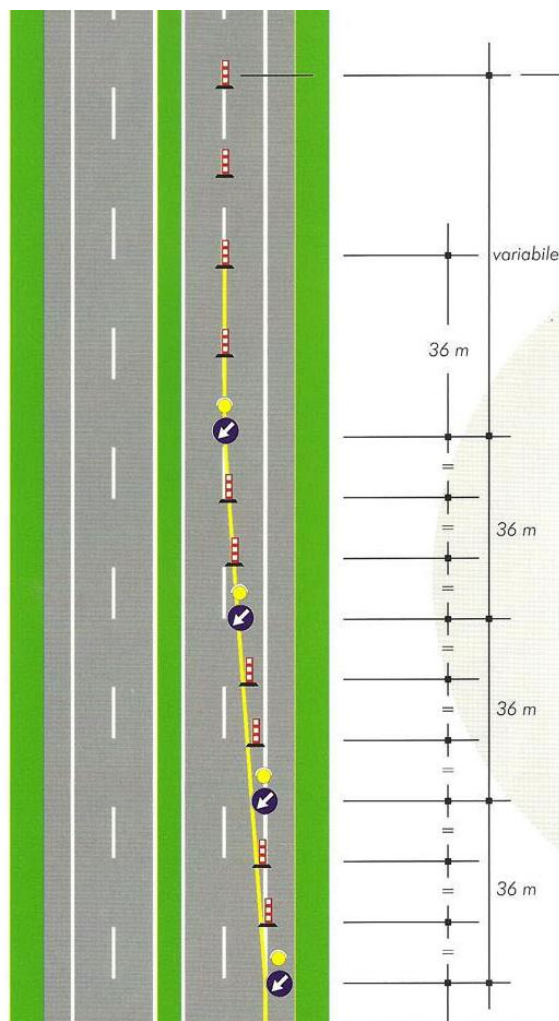


Figura 5.19: Tavola 1c per distanziamento paletti flessibili

Essendo lo svincolo autostradale oggetto di studio posto lungo l'autostrada A8, caratterizzata da velocità di percorrenza di 130km/h massimi e 90 km/h considerati nella corsia lenta, si sceglie di adottare la minima altezza, ovvero 50 cm, omologata per percorsi autostradali. Utilizzare altezze superiori potrebbe portare a conseguenze ancora più gravose rispetto alla loro completa assenza, in quanto paletti con altezze comprese tra i 70 e i 100 centimetri potrebbero scindersi in due porzioni in caso di impatto tra dispositivi e veicoli a velocità elevate: ciò farebbe venir meno la sua caratteristica principale, ovvero la flessione, con il rischio ulteriore che la parte rimasta infissa alla base si incastri al mezzo.

5.7 PAVIMENTAZIONE

Preso atto che i fattori coinvolti negli incidenti stradali sono molteplici, tra i tanti meritano attenzione anche le proprietà funzionali delle pavimentazioni, e in particolare l'aderenza e la tessitura superficiale, oltre alle capacità drenanti, essendo queste ultime contribuenti senza dubbio alla riduzione della probabilità di incidenti, a condizione che gli standard qualitativi in esercizio siano elevati.

I risultati ottenuti mostrano che è importante valutare e modellare le modalità di degrado e l'andamento delle prestazioni delle pavimentazioni, non solo per garantire qualitativamente condizioni di comfort e sicurezza appropriate, ma anche per determinare in modo quanto più attendibile possibile le necessità di interventi di manutenzione futuri.

Una pavimentazione rugosa e in buono stato consente al conducente di avere un maggior controllo del veicolo e di rispondere in maniera immediata, senza rischio di scorrimento o slittamento delle ruote, a situazioni di pericolo. L'azione drenante delle pavimentazioni garantisce l'assenza di ristagno dell'acqua piovana, in modo da contrastare fenomeni quali l'acquaplaning.

Il manto stradale dovrà trovarsi sempre in buone condizioni, con ispezioni manutentive programmate, con particolare attenzione in zone soggette a maggiori fenomeni corrosivi che possono portare ad un degrado della pavimentazione in tempi ridotti, quali zone di uscita o immissione in autostrada oppure caselli autostradali.

Da qui si evince come, in zone di svincolo, sia necessario effettuare controllo e ispezioni del manto autostradale con frequenze maggiori rispetto alle rimanenti aree della pavimentazione stradale.

5.8 RALLENTATORI DI VELOCITA'

Tra i segnali complementari rientrano i rallentatori di velocità. Su tutte le strade, e per tutta la larghezza della carreggiata (una o più corsie nel senso di marcia interessato), si possono adottare sistemi di rallentamento della velocità costituiti da bande trasversali ad effetto ottico, acustico o vibratorio, ottenibili con opportuni mezzi di segnalamento orizzontale o trattamento della superficie della pavimentazione.

L'articolo 42 del Codice della Strada [51] impone l'adozione di diverse modalità di realizzazione in relazione al tipo di dissuasore scelto.

- Nel caso in cui si optasse per dissuasori di velocità ad effetto ottico, questi verranno realizzati mediante applicazione in serie di almeno 4 strisce bianche rifrangenti con larghezza crescente nel senso di marcia e distanziamento decrescente

La prima banda dovrà avere una larghezza di almeno 20 cm mentre le successive verranno incrementate di almeno 10 cm l'una dall'altra.

In Fig.5.20 (Ripresa dall'Art. 179 del C.S. [50]) viene riportato lo schema di realizzazione.

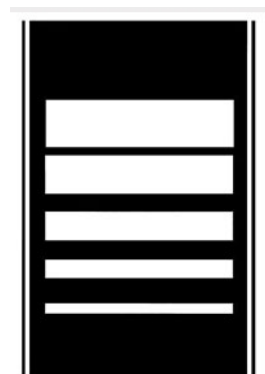


Figura 5.20: Bande ottiche di decelerazione

- I sistemi di rallentamento di tipo acustico- vibratorio sono un ottimo strumento per indurre un rallentamento dei veicoli e sono previsti dal Regolamento del Codice della Strada (art. 179 comma 3); essi sono realizzati tramite irruvidimento del manto stradale ottenuto per mezzo di scarificazione o incisione superficiale della pavimentazione, oppure tramite l'applicazione di strati sottili di materiale in rilievo in aderenza, eventualmente integrato con dispositivi rifrangenti (Cap.3.7). Tuttavia, nonostante la comprovata efficacia, questo sistema di rallentamento è affetto da vari svantaggi, i più rilevanti dei quali sono scarsa durabilità e fastidio recato ai conducenti e passeggeri del mezzo.

In via sperimentale in Italia si sta diffondendo anche un altro sistema di dissuasore della velocità. Già ampiamente diffusi a livello europeo e in Inghilterra, sono dei sistemi di segnalamento orizzontale denominati come "Denti di Drago". Sono costituiti da una serie di triangoli isosceli disposti parallelamente alla riga di margine e di mezzzeria la cui rappresentazione viene riportata in Fig.5.21.

Possono essere ad altezza fissa o variabile (a crescere nel senso di marcia), in modo da indurre nel conducente la sensazione di restringimento della corsia. Secondo quanto riscontrato da approfondimenti in materia, i triangoli ad altezza crescente vanno realizzati ad un metro di interasse l'uno dall'altro, devono essere di larghezza pari a 30 centimetri ed avere altezza crescente partendo da 30 cm fino ad arrivare a 74 cm.



Figura 5.21: Segnaletica orizzontale Denti di Drago

È possibile immaginare di adottare questi sistemi di rallentamento laddove risulti eccessiva l'applicazione di paletti flessibili (es. in zone dove già le velocità di percorrenza non sono molto elevate), oppure in zone nelle quali non è possibile, per mancanza di spazio, posizionare i delineatori.

I rallentatori di velocità orizzontali sarebbero risultati un'ottima scelta, dati gli spazi di manovra e mobilità, qualora vi fosse il vincolo di non modificare il bivio trattato dal caso studio. In quella situazione, difatti, l'apposizione di paletti avrebbe portato ad un ulteriore rallentamento delle corsie principali con conseguente aumento del rischio tamponamento.

5.9 INNOVAZIONE, USO DI BARRIERE INTELLIGENTI

Richiamando i numerosi vantaggi delle sopra citate “barriere intelligenti”, questi sistemi di sicurezza risultano dotati di un sistema in grado di rilevare impatti distribuiti lungo il tratto stradale di interesse e di segnalare il pericolo in tempo reale diversi chilometri prima dell’incidente; consente inoltre di rilevare formazioni di code con evidenti vantaggi per la gestione del traffico.

Altro punto a favore di questi dispositivi è la possibilità di adoperare delle luci a led su di esse, così da permettere al guidatore di riconoscere senza alcuna difficoltà quale sia il tracciato da seguire, sia in caso di guida notturna che, per determinate zone del Paese, in caso di nebbia.

È da riconoscere, infatti, che molti incidenti notturni interessano proprio zone di svincolo in quanto poco illuminate e segnalate, nella maggior parte dei casi. Spesso il conducente si ritrova a riconoscere la cuspide soltanto qualche istante prima di giungere in sua presenza. Tuttavia è da tenere a mente che lo svincolo autostradale rappresenta, in generale, l'unico tratto autostradale che gode di illuminazione pubblica: tutte le strade che lo compongono (di accesso, di uscita), nonché le relative corsie di accelerazione o decelerazione, devono essere dotate, infatti, di un idoneo impianto di illuminazione.

La scarsa illuminazione, oltre a portare ad una situazione di pericolo per il singolo guidatore, porta i conducenti a situazioni di incertezza con conseguente diminuzione della velocità, apparentemente non giustificata, facendo sì che il rischio incidente interessi anche i veicoli che sopraggiungono nella zona di interesse.

In conclusione, andare a posizionare delle barriere come quelle descritte nel capitolo 2.8 del presente documento porterebbe a numerosi vantaggi sia in termini di sicurezza, sia in merito ad una fornitura continua di dati riguardanti la viabilità stradale; infatti, in caso di incidente o rallentamenti tutti i veicoli in avvicinamento verrebbero informati sia per mezzo dei segnali luminosi intermittenti, sia tramite illuminazione disposta lungo la barriera a luce costante per un determinato tratto, la cui lunghezza viene gestita da procedure interne al concessionario e dipende dalla tipologia di incidente, con l’ingombro percentuale di carreggiata che ne deriva.

Riconoscendo l’impatto economico di tali dispositivi una soluzione idonea, che permette di trovare un giusto bilanciamento tra costi/benefici, è il posizionamento delle barriere “intelligenti”. Esse saranno poste sia in corrispondenza dello svincolo autostradale che nei 100 metri antecedenti in modo da avvertire i conducenti, per mezzo di segnali luminosi, in caso di incidenti o rallentamenti ed avere il tempo e lo spazio per compiere le manovre di decelerazione e cambio carreggiata in sicurezza.

5.10 APPLICAZIONE DI GUARDLED

Rappresenta una nuova tecnologia che si sta sempre più diffondendo tra i vari Paesi europei e, seppur con velocità limitata, anche in Italia.

Su un tratto in rettilineo dell'Autodromo Internazionale di Monza fu condotto il primo test di Guardled che rappresenta ad oggi l'innovativa tecnologia di illuminazione pensata per le autostrade.

Tale sistema consiste in un vero e proprio sistema di sicurezza stradale, che va collocato sui i guardrail tradizionali; è realizzato con un materiale dotato di un'elevata capacità d'assorbimento d'urto che permette di incrementare il livello di sicurezza passiva, in particolar modo per i motociclisti proteggendoli dall'impatto diretto sulla lamiera del guardrail [52]. Nella Fig. 5.22 viene riportato un esempio di applicazione dei suddetti dispositivi.



Figura 5.22: Sistema Guardled

La tecnologia adoperata permette di illuminare la pavimentazione stradale per mezzo di un fascio luminoso, posto ad una altezza di circa 40 cm dal terreno, che va man mano attenuandosi verso il centro della carreggiata. Questo metodo di illuminazione è totalmente differente dai classici sistemi ai quali è abituata l'utenza in quanto, a differenza dell'illuminazione tradizionale, i pannelli a led disposti lungo le barriere di sicurezza permettono di delineare in maniera precisa lo sviluppo autostradale, consentendo al conducente del veicolo di seguire il tracciato senza alcuna difficoltà.

Il loro utilizzo avvenne inizialmente per l'illuminazione di un tratto rettilineo, come già espresso, ma di particolare interesse risulta il suo posizionamento in svincoli autostradali, rotonde e in generale in tutte quelle zone critiche nelle quali è necessario aumentare la sicurezza e il confort di guida del conducente.

Nel 2020 fu avviata una sperimentazione che vide l'utilizzo dei Guardled su una rotonda posta appena fuori il casello di Verona Est. L'obiettivo era quello di ridurre i consumi e l'inquinamento

luminoso andando a sostituire l'illuminazione delle torri a faro con illuminazione di tipo diffuso originata dal basso e meno invasiva sia per l'ambiente circostante che per il guidatore; l'intensità può essere regolata da remoto in funzione alle condizioni circostanti nelle quali riversa la strada interessata. Il vantaggio economico è legato all'abbattimento notevole dei costi di manutenzione relativi alle illuminazioni tradizionali.

Viene rappresentata nella Fig.5.23 il sistema di Guardled posizionato sulla rotatoria posta appena fuori Verona Est.



Figura 5.23: Sistema Guardled posto in prossimità di una rotatoria

Quella appena esplicitata è da ritenersi un'ottima soluzione in sostituzione all'ipotesi delle barriere intelligenti, in quanto gli svincoli non godono tutti della stessa importanza e criticità e per questo soluzioni come le barriere Andromeda (esempio di tipo applicativo) risulterebbero dei sistemi eccessivi e non economicamente sostenibili. Essendo questi sistemi a led da posizionare su barriere già esistenti, essi non necessitano dell'installazione di pali o sistemi di sostegno, dunque sono da reputare la soluzione migliore in caso di svincoli non "principali".

Lo svincolo trattato nel caso studio non era collegato all'uscita classica autostradale, ma esclusivamente destinato al passaggio di veicoli autorizzati all'ingresso in deposito; non essendoci grandi afflussi veicolari, si ritiene che un dispositivo quale guardled sarebbe risultato più che sufficiente.

L'apposizione dei suddetti dispositivi avverrà in tutto il tratto autostradale interessato dalla presenza dello svincolo: dall'inizio della corsia di decelerazione e soltanto lungo il lato destro della carreggiata fino a giungere la cuspide, dalla quale invece saranno presenti da entrambi i lati della carreggiata.

5.11 SISTEMI RADIO PER COMUNICAZIONE PERICOLI

Già largamente utilizzate in zone confinate quali le gallerie, dove ci si trova in spazi chiusi e difficilmente accessibili, ai sensi del Decreto Legislativo 5 ottobre 2006 n. 264 [53]; si prevede che in tutte le gallerie di lunghezza superiore a 1.000 metri è imposta l'installazione di impianti di radiocomunicazioni. Nel caso in cui la galleria avesse estensione minore ma comunque una densità di traffico superiore alle 2000 unità orarie, si procederà come nel caso precedente al fine di garantire la gestione degli interventi agli enti preposti al pronto intervento di soccorso, come la Polizia Stradale, i Vigili del Fuoco, il Soccorso Sanitario e l'ANAS.

Adottare sistemi radio simili a quelli presenti in gallerie in zone autostradali con caratteristiche tali da renderle altamente pericolose, potrebbe rappresentare una soluzione di gestione delle emergenze. Scegliere di posizionare sui guardrail delle stazioni radio disposte lungo i tratti di interesse consentirebbe di avere lo stesso effetto delle barriere “intelligenti”, comunicando tramite bluetooth a veicoli e unità competenti eventuali anomalie rispetto alla normale percorrenza del tratto; a differenza dei sistemi bluetooth, tutte le vetture (o quantomeno la stragrande maggioranza di esse) sono dotate di sistemi radio, per cui la soluzione appena espressa risulta di applicabilità più estesa.

A seconda del numero di canali da ritrasmettere, delle frequenze utilizzate e della lunghezza del tratto autostradale, il sistema radiante che fornirà il segnale utile per l'intero percorso può essere costituito da antenne, da cavo fessurato o da una combinazione di entrambi. Quando si ritrasmettono una o più frequenze radio, viene installato un dispositivo che permette l'inserimento di messaggi preregistrati che, in caso di bisogno, prevalgono sulle emittenti commerciali in modo da trasmettere dei messaggi riguardanti lo stato di circolazione autostradale, con l'intenzione di far volgere l'attenzione degli utenti alle modalità di guida, fornendo loro le indicazioni sulle azioni che l'operatore vuole che compiano.

Un'installazione di ritrasmissione radio generale è composta sostanzialmente da:

- un'antenna;
- un'unità di trasmissione/ricezione che permette la trasmissione nei locali tecnici;
- un'unità di trasmissione/ricezione che permette la trasmissione; non adoperata per le emittenti pubbliche, ma per i servizi d'emergenza ecc.;
- cavi o antenne radianti.

Alla base del posizionamento del sistema radio per le comunicazioni di emergenza si ricorda esserci l'informazione dello stato del traffico, in quanto permettere a chiunque di conoscere le situazioni attuali di viabilità consente di anticipare svolte o riduzioni della velocità, evitando che il guidatore arrivi colto di sorpresa ad eventuali situazioni pericolose, con conseguenti spazi insufficienti per effettuare le manovre in sicurezza.

Ascoltare le informazioni aggiornate e i bollettini radio relativi alla viabilità autostradale, consente di viaggiare con una maggiore sicurezza e di conoscere le condizioni del traffico; utile soprattutto per quanto riguarda la presenza di lunghe code sui tratti autostradali italiani. Tramite sintonizzazione su determinate frequenze è possibile ascoltare i servizi radio per il notiziario del traffico essendo le stazioni in collegamento con Autostrade per l'Italia; in alternativa si può ricorrere a contattare i call center della viabilità di Autostrade per l'Italia, per avere tutte le informazioni relative ad incidenti e viabilità (al numero 840 04 21 21) oppure contattare il numero verde del CCISS ovvero Centro di Coordinamento Informazioni sulla Sicurezza Stradale (15 18).

CAPITOLO 6. APPLICAZIONE INTERVENTI

Dall'analisi dell'incidente avvenuto nel tratto autostradale A/8 con direttrice di marcia da Milano verso Varese, sono emerse numerose criticità riguardanti la non corretta realizzazione dello svincolo autostradale interessato dall'evento. Tra le principali problematiche rientrano sia la mancanza di una corsia di rallentamento sia la realizzazione di una cuspidi, non adeguata alle normative vigenti né in termini di sicurezza stradale né di realizzazione. La trattazione del sinistro ha lo scopo di porre l'attenzione sulla progettazione degli svincoli autostradali, punti di elevata criticità, e di proporre diversi interventi migliorativi adattati alle diverse casistiche che assicurino un aumento di sicurezza e una diminuzione del rischio di mortalità. In particolare nel caso studio la cuspidi presentava un raggio di curvatura estremamente ridotto e un irrigidimento tramite barre in acciaio, che rendevano l'elemento estremamente perforante. Si annullava in questo modo lo scopo per il quale le barriere vengono apposte, non garantendo alcun assorbimento di energia e il reindirizzamento del mezzo verso l'interno della carreggiata. Le soluzioni proposte sono state successivamente rappresentate tramite modellazione 3D per mezzo del software SketchUp Pro 2022.

Prima di suggerire delle proposte migliorative è stata svolta una ricerca accurata sulle barriere di sicurezza stradale e sulla segnaletica autostradale verticale e orizzontale. Lo svincolo realizzato per l'ingresso in una zona di deposito ed essendo per definizione una zona di cantiere, parte della ricerca è stata svolta anche per la determinazione delle modalità di apposizione della cartellonistica e della segnaletica in generale per cantieri fissi di lunga durata.

Solo dopo aver acquisito tutte le conoscenze necessarie per la trattazione del caso si è passati all'individuazione degli interventi di miglioramento. Primo tra tutti è la necessità di realizzare una corsia di decelerazione per consentire ai mezzi di giungere al punto critico, ovvero la cuspidi, con delle velocità non eccessivamente elevate. Tuttavia l'uscita trattata presenta la peculiarità di essere posta nelle successive vicinanze di uno svincolo autostradale "standard", rendendo impossibile la realizzazione di una corsia di rallentamento adeguata alla velocità caratterizzante il tratto autostradale. La decelerazione con cui l'automobilista affronta lo svincolo, riducendo la propria velocità da 90 km/h (25 m/s) a 40 km/h (11,11 m/s), si aggira generalmente intorno a 1.6 m/s^2 . Si tratta della decelerazione tipica eseguita sfruttando solo la forza frenante generata dal "freno motore".

Tramite applicazione dell'equazione del moto rettilineo uniformemente decelerato, riportata a seguire nell'eq 9, si determina lo spazio necessario per la realizzazione della corsia di decelerazione.

$$L = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2 \cdot acc}$$

Equazione 9: Estensione corsia di decelerazione adeguata al tratto del caso studio

Con il termine v_1 si indica la velocità di progetto del tracciato della strada principale pari a 90 km/h, mentre con v_2 si indica la velocità in curva all'uscita dello svincolo ovvero 40 km/h. Adottando i valori del caso studio si ricava una lunghezza di circa 156 metri che verrebbe poi essere arrotondata per eccesso in maniera cautelativa.

Lo spazio compreso tra i due svincoli analizzati nel caso studio è tuttavia di circa 160 metri, ciò esclude la possibilità di realizzare una corsia di rallentamento di estensione adeguata come anticipato precedentemente e si procede allora alla progettazione di una corsia con estensione massima possibile pari a 100 metri. Lo scopo è di consentire un incanalamento dei mezzi verso l'uscita selezionata e di evitare un eccessivo appesantimento della segnaletica verticale.

Altro intervento effettuato e rappresentato nelle diverse proposte migliorative nella modellazione 3D è l'ampliamento della cuspide, con l'apposizione di un attenuatore d'urto avente caratteristiche idonee alla velocità, al traffico considerato e allo spazio di apposizione. La cuspide è stata realizzata con un angolo di curvatura molto più ampio rispetto a quello presente al momento del sinistro e sono state eliminate tutte le barre in acciaio che rendevano il sistema estremamente rigido. La scelta dell'attenuatore si è basata su indagini di mercato andando a ricercare quello che avesse altezza maggiore, poiché si è presupposto l'uso dello svincolo principalmente da mezzi pesanti essendo adibito come ingresso ad un deposito, e minore estensione longitudinale.

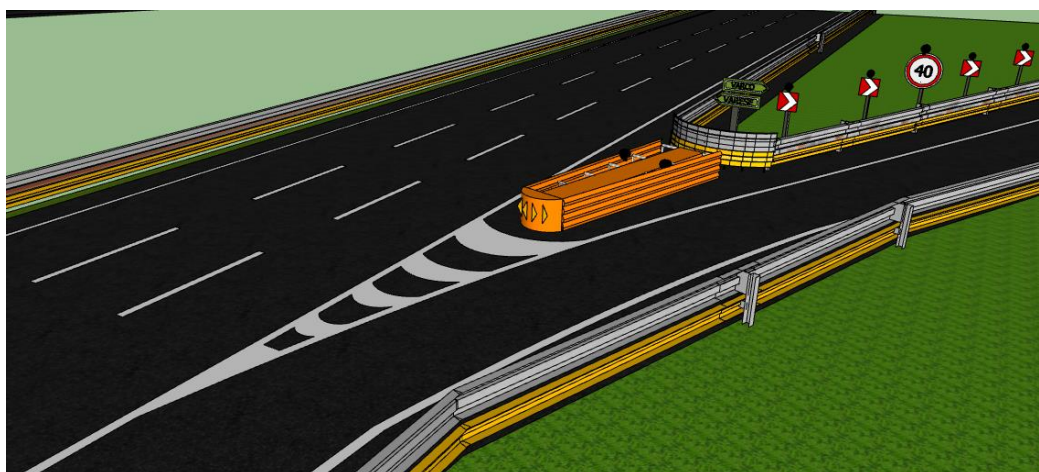


Figura 6.1: Modellazione 3D dello svincolo realizzato conforme alla normativa italiana

La segnaletica verticale riportata nella modellazione e in parte visibile nella Fig. 6.1, era anch'essa assente al momento del sinistro. Sono stati eseguiti degli interventi per la messa a norma dello svincolo tramite apposizione di cartelli segnaletici per indicare le direzioni, lo svincolo e la curvatura dell'uscita accompagnata da illuminazione e limite di velocità.

Considerando questi primi interventi come necessari per raggiungere i livelli minimi di sicurezza in zone di svincolo, quelle riportate a seguire, sono da considerare come risoluzione implementative che dovranno essere riadattate di volta in volta.

Tra le prime soluzioni proposte nel suddetto documento, è l'uso della segnaletica complementare anche se nel caso studio non è stata adottata a causa degli spazi già eccessivamente ridotti per la vicinanza tra i due svincoli. Tale apposizione avrebbe diminuito ulteriormente lo spazio di immissione del veicolo ipotizzando le dimensioni elevate di autotreni e autoarticolati. Si rappresenta questa soluzione nello svincolo antecedente a quello trattato poiché progettato con corsia di decelerazione di lunghezza adeguata. Viene riportata nella Fig. 6.2 la rappresentazione in dettaglio della metodologia di apposizione dei delineatori (conforme con quella stabilita dalle schede tecniche per cantieri fissi di lunga durata) con altezza di 50 cm in modo da non risultare un rischio per il veicolo e il conducente in caso di impatto.



Figura 6.2: Dettaglio dei delineatori flessibili definiti in fase progettuale

In alternativa all'utilizzo dei delineatori è possibile adottare delle tipologie innovative di segnaletica orizzontale, i "denti di drago". Si stanno diffondendo in via sperimentale mostrando un ampio successo nello svolgere il compito per il quale sono state pensate. Proprio grazie alla loro forma e dimensione generano un effetto ottico da avvicinare il punto di fuga, dando la sensazione al conducente che lo svincolo sia posto ad una distanza minore di quella effettiva., conseguentemente il guidatore decelererà affrontando l'uscita ad una velocità conforme con quella di progetto. Questa ipotesi progettuale è stata modellata e rappresentata per mezzo del software ed è riportata in Fig. 6.3. Nella modellazione effettuata sono state apportate delle modifiche alle dimensioni ed interasse dei "denti" rispetto a quelle riportate nel capitolo 5.8. Ciò è dovuto alla differente velocità considerata e ad una maggiore larghezza della carreggiata.

Passando dall'ambito urbano a quello autostradale le corsie non avranno più una larghezza di 2,75 m ma di 3,75 m e conseguentemente anche l'altezza dei triangoli adottati dovrà essere maggiorata; la velocità considerata non è più compresa nei 50 km/h come avviene in ambito urbano ma di circa 70 km/h, quindi sarà necessario aumentare l'interasse in modo da permettere ai conducenti di avvertire la presenza dei denti di drago e di risentire anche del loro effetto visivo.

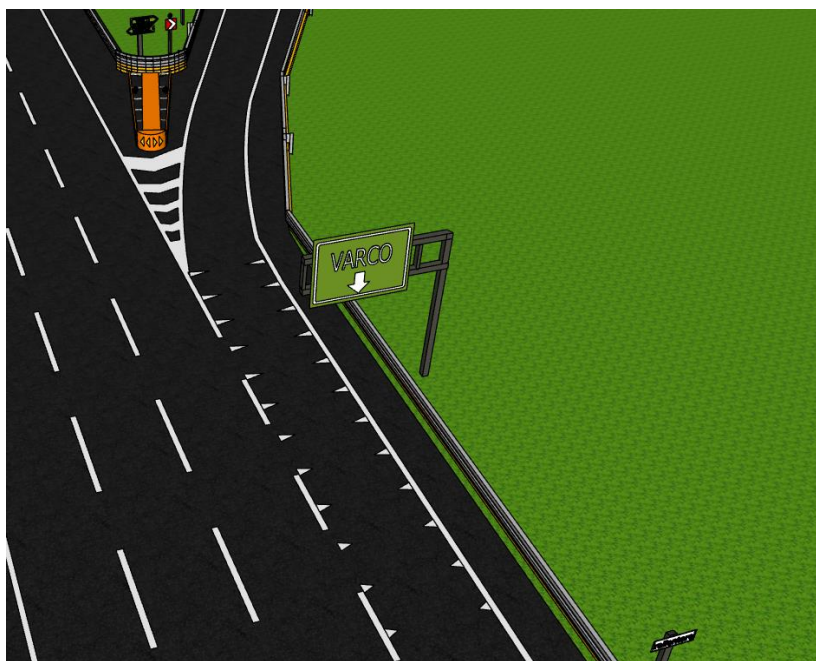


Figura 6.3: Modellazione dei “Denti di Drago” riadattati al caso studio

Soluzioni che sono state invece rappresentate nello svincolo oggetto di studio riguardano l'apposizione di particolari dispositivi di sicurezza autostradale.

Sistemi sempre più all'avanguardia si stanno diffondendo sia a livello Europeo che internazionale, primo tra tutti è il propagarsi delle barriere salva-motociclisti per la loro indiscussa semplicità di apposizione lungo i guardrail. Le barriere salva-motociclisti sono state apposte nelle modellazioni visibili in Fig.6.1 e Fig.6.2.

Così come le barriere appena citate anche i guardled, seppur in maniera sperimentale, stanno godendo di un elevato gradimento che li rende uno tra i principali sistemi di sicurezza in diffusione. La luce a led diffusa lungo tutto il guardled viene semplicemente collegata alle barriere già esistenti ad una altezza dal piano campagna di 40 cm, consentendo una migliore visuale ai conducenti in condizioni di guida notturna e di nebbia rendendo sempre chiaro il tracciato. L'apposizione di questi dispositivi di sicurezza è stata adottata nel caso studio come uno dei possibili interventi migliorativi, optando per il loro posizionamento lungo la corsia di decelerazione soltanto nel lato destro della carreggiata fino a giungere la cuspide, dalla quale invece saranno presenti da entrambi i lati della carreggiata. (Fig. 6.4)

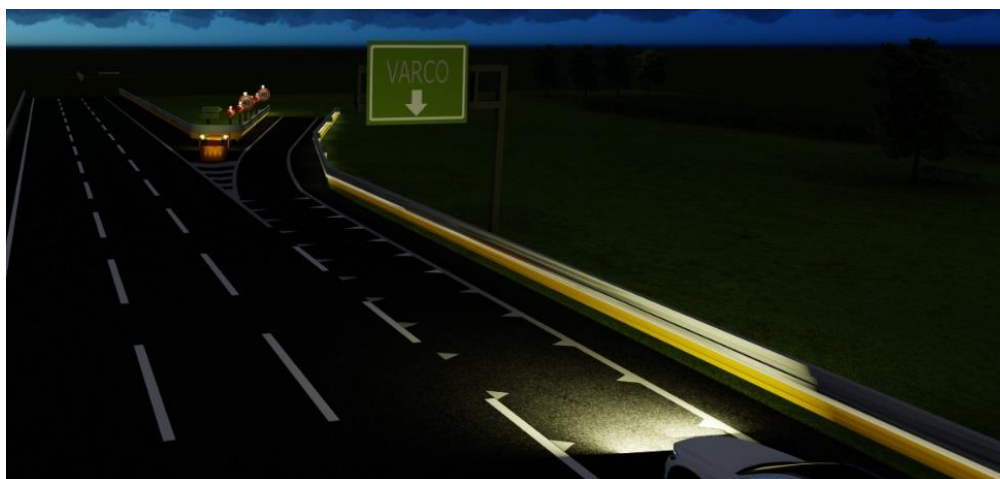


Figura 6.4: Guardled in condizioni notturne

Altre barriere testate negli ultimi anni e ormai ampiamente affermate sono le “barriere intelligenti”. Sono sistemi dotati di luce a led che consentono di avere sempre delle ottime visuali del tracciato e di avvertire i conducenti, tramite illuminazione alternata, di eventuali alterazioni della percorribilità autostradale; sono inoltre dotati di dispositivi bluetooth per il collegamento e il passaggio di informazioni con i veicoli. Riconoscendo l’impatto economico nettamente più rilevante, si adotterà la scelta progettuale di porle esclusivamente nei pressi dello svincolo analizzato, in generale in tutti gli svincoli che presentano criticità e rischi elevati.

Nel bivio in questione verranno apposte in modo da avvertire i conducenti in corrispondenza dello svincolo autostradale e nei 100 metri antecedenti, per avere il tempo e lo spazio di compiere le manovre di decelerazione e cambio carreggiata in sicurezza in caso di incidenti o rallentamenti.

È da notare tuttavia che lungo il lato esterno della carreggiata non sarà possibile raggiungere i 100 metri di estensione delle barriere Andromeda data la vicinanza con lo svincolo precedente.

In Fig. 6.5 viene riportata la modellazione 3D della soluzione appena descritta.



Figura 6.5: Modellazione 3D delle barriere “intelligenti”

Tra le diverse proposte di intervento troviamo l’aggiunta di dispositivi radio e il mantenimento della pavimentazione stradale sempre in condizioni ottimali. Tramite il primo si punta a garantire in caso di incidenti o rallentamenti una comunicazione immediata con i servizi di pronto soccorso e con i conducenti dei veicoli in transito. Con il controllo e la manutenzione del manto stradale si

ricerca invece la massima condizione di aderenza ruota-pavimento in modo da scongiurare slittamenti, scorrimenti e fenomeni quale l'acquaplaning.

CAPITOLO 7. CONCLUSIONI

La normativa italiana negli ultimi decenni è orientata verso gli standard di sicurezza autostradale europea, seppure con dei ritmi non competitivi ed evidenziando grandi difficoltà prestazionali.

Dai dati ISTAT del 2019 l'Italia si è infatti confermata ancora a livelli molto alti di mortalità, ponendosi al 16° posto della graduatoria europea con un tasso pari a 52,6 morti per milione di abitanti, rispetto ad una media UE di 48,1 morti collocandola quindi tra i Paesi della Comunità EU in cui gli incidenti hanno gli esiti peggiori.

È da portare in evidenza tuttavia come lo stato Italiano abbia intrapreso la giusta direzione in materia di sicurezza stradale. Lo testimonia la raccolta dati ISTAT riguardante l'andamento di incidentalità e la mortalità autostradale degli ultimi 30 anni, che mostra un costante andamento calante di incidenti con gravi ripercussioni, coerente con la progressiva introduzione di norme più restrittive in punto di sicurezza.

Dal caso studio si mette in risalto come in determinate circostanze si ritrovi ancora molta distanza tra i livelli teorici di sicurezza richiesti della Normativa Italiana e l'applicazione pratica di tutti i sistemi necessari per garantire i livelli minimi di tutela.

Il caso analizzato è un incidente autostradale avvenuto in prossimità di una cuspidine che ha generato delle conseguenze gravi per il conducente e i due passeggeri. Dallo studio effettuato sono emerse numerose carenze prestazionali e una non corretta progettazione e realizzazione dello svincolo autostradale realizzato per un deposito di Autostrade per l'Italia.

Conseguentemente all'analisi del sinistro sono stati proposti numerosi interventi, che se applicati potrebbero portare un aumento della sicurezza stradale e una riduzione del tasso di mortalità. I diversi suggerimenti sono stati presentati e riadattati in funzione alle caratteristiche geografiche della zona analizzata con interventi di tipo "innovativo" ancora presenti in fase sperimentale in zone ristrette della rete autostradale italiana e per mezzo di soluzioni ampiamente diffuse in tutto il territorio.

Tramite software di modellazione 3D è stato ricostruito il tracciato autostradale integrato ad una serie di modifiche e adattamenti tali da rendere il tratto conforme alla normativa in materia di sicurezza. In particolare, è stata rappresentata una corsia di decelerazione di lunghezza di 100 metri, questa estensione non risulta comunque adeguata alle velocità consentite, ma non era possibile realizzarne una di lunghezza idonea data la vicinanza ad uno svincolo autostradale posto antecedente all'uscita.

Sono stati inoltre posti tutti i tipi di segnalamento, orizzontale e verticale, adeguati per dimensioni e distanze alla velocità e alla corsia di apposizione.

Tra le altre modifiche di carattere progettuale vi è la realizzazione di una cuspidine differente rispetto a quella presente al momento del sinistro stradale, che presentava una serie di criticità affrontate e risolte nella presente trattazione; le principali erano l'assenza di un attenuatore d'urto e la presenza di irrigidimenti realizzati con barre in acciaio che rendevano l'elemento estremamente resistente.

Le modifiche riportate fino a questo punto rappresentano delle soluzioni già definite e normate dalle leggi italiane, tuttavia sono ancora frequenti casi come quello descritto nei quali teoria e pratica non procedono parallelamente.

Si vuole quindi sensibilizzare l'opinione pubblica e gli Enti preposti a garantire una sempre più elevata tutela delle persone e dei mezzi su strada, aumentando i nuovi obblighi delle norme internazionali e spingendo sempre più ad adattarsi agli standard Europei.

Sono stati infine modellati tramite il software SketchUp Pro 2022 ulteriori interventi che tuttavia non risultano ancora impiegati in modo diffuso lungo la rete autostradale. Essendo queste proposte di tipo innovativo non si hanno riscontri concreti che accertino il loro funzionamento, per cui non è possibile affermare con certezza la riuscita di una riduzione graduale della velocità da parte dei conducenti e una adeguata traiettoria incentivata da segnaletica orizzontale e verticale apposta come stabilito da normativa.

Per tale motivo sarebbe interessante una sperimentazione in campo delle proposte argomentate nel presente lavoro di tesi, in uno svincolo autostradale con caratteristiche paragonabili al caso analizzato. Successivamente, attraverso un monitoraggio delle traiettorie e delle velocità lungo la tratta autostradale, osservare in un arco di tempo adeguato il comportamento degli utenti e verificare se gli interventi implementati abbiano permesso il soddisfacimento degli obiettivi ricercati.

INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1.1: Incidenti stradali con lesioni a persone, morti e feriti. Anni 2001-2019, valori assoluti</i>	<i>12</i>
<i>Figura 1.2: Veicoli coinvolti per categoria.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 1.3:vittime evitate o evitabili in incidenti stradali nel periodo 2011-2019 e costi sociali derivati (valori assoluti e costi sociali in miliardi di euro a prezzi costanti 2010).....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 1.4: Andamento incidentalità negli anni in Italia.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 1.5: Andamento del tasso di mortalità per incidenti in Italia.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 2.1: Terminale non correttamente progettato</i>	<i>20</i>
<i>Figura 2.2: Particolare di montanti pullonati al suolo.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 2.3: Esempi di barriere metalliche.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 2.5: Elementi strutturali barriere metalliche (Archwed.it)</i>	<i>26</i>
<i>Figura 2.4: Elementi strutturali barriere metalliche</i>	<i>26</i>
<i>Figura 2.6: Barriere New Jersey in diverse altezze</i>	<i>28</i>
<i>Figura 2.7: Barriere New Jersey altezza:0,4m,0,7m e 1m. Estratto da: " LCM Infrastrutture Stradali ".....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 2.8: Elementi di collegamento orizzontali per barriere tipo New Jersey.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 2.9 Barriere miste acciaio-calcestruzzo</i>	<i>30</i>
<i>Figura 2.10: Barriere miste acciaio-legno.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 2.11 Esempi di barriere di sicurezza con annessi sistemi di sicurezza per motociclisti</i>	<i>33</i>
<i>Figura 2.12: Dispositivi di sicurezza salvamotociclisti</i>	<i>34</i>
<i>Figura 2.13: Attenuatore d'urto redirettivo</i>	<i>36</i>
<i>Figura 2.14: Attenuatore d'urto non redirettivo</i>	<i>36</i>
<i>Figura 2.15: Attenuatore d'urto di tipo inerziale a sinistra e di tipo cinetico nell'immagine di destra</i>	<i>37</i>
<i>Figura 2.16: Terminale speciale immerso</i>	<i>38</i>
<i>Figura 2.17: Esempi di terminali speciali non immersi.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 2.18: Identificazione elementi di una transizione.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 2.19: vista longitudinale del passaggio graduale tramite "transizioni" di due diverse barriere.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 2.20: Rappresentazione varco aperto.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 2.21: Rappresentazione varco chiuso.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 2.22: Grafico spostamento-tempo di una prova dinamica reale con in arancione la prova effettuata in sito e in grigio quella effettuata presso il Campo Prove (AISICO).....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 2.23: Rappresentazione di impatto per calcolo di L_c</i>	<i>48</i>
<i>Figura 2.24: Classi di Severità di Impatto</i>	<i>49</i>
<i>Figura 2.25:Rappresentazione delle prime lettere dell'Indice</i>	<i>52</i>
<i>Figura 2.26: Rappresentazione a sinistra del significato delle prime due lettere d e a destra dei sette valori per ogni distanza interna con annessa leggenda.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 2.27: Fasi d'urto di un veicolo su un guardrail rettilineo.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 2.28: Classificazione secondo norma EN1317:2010-2 dei livelli di larghezza.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 2.29: Classificazione secondo norma EN1317:2010-2 dei livelli di intrusione</i>	<i>56</i>
<i>Figura 2.30: rappresentazione parametri di deformazione trasversale.</i>	<i>57</i>
<i>Figura 2.31: Rappresentazione grafica Box di uscita.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 2.32: rappresentazione dell'effettivo spazio di lavoro.</i>	<i>60</i>
<i>Figura 2.33: rappresentazione visibilità in curva con presenza di sistemi di ritenuta laterale.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 2.34: schema di allargamento della banchina per garantire i requisiti di visibilità previsti da normativa</i>	<i>62</i>
<i>Figura 2.35: Schema di controllo della visibilità in curva.</i>	<i>63</i>

<i>Figura 2.37: Rappresentazione di barriere Andromeda in situazione di nebbia e carenza di illuminazione.</i>	70
<i>Figura 2.36: Rappresentazione Barriere Smart “Andromeda”</i>	70
<i>Figura 3.1: Segnali di pericolo</i>	76
<i>Figura 3.2: Segnali di prescrizione</i>	77
<i>Figura 3.3: Segnali di indicazione</i>	77
<i>Figura 3.4: Segnali per cantieri mobili</i>	77
<i>Figura 3.5: Segnali luminosi</i>	78
<i>Figura 3.6: Barriera Normale</i>	78
<i>Figura 3.7: Barriera Direzionale</i>	79
<i>Figura 3.8: Paletto di Delimitazione</i>	79
<i>Figura 3.9: Cono a diverse altezze</i>	80
<i>Figura 3.10: Delineatori Flessibili</i>	80
<i>Figura 3.11: Schema segnaletico Tav.13 con rap. di deviazione e svincolo</i>	85
<i>Figura 3.12: Schema segnaletico Tav.35 rap.devizione in zona di svincolo</i>	86
<i>Figura 3.13: Schema segnaletico Tav.36 rap.devizione in zona di svincolo con restringimento</i>	87
<i>Figura 3.14: Schema segnaletico rappresenante testata di deviazione con bivio</i>	88
<i>Figura 3.15: Strisce longitudinali di tipo continuo e discontinuo</i>	90
<i>Figura 3.16: Striscia discontinua</i>	91
<i>Figura 3.17: Striscia continua</i>	91
<i>Figura 3.18: Doppia striscia continua</i>	91
<i>Figura 3.19: Striscia continua affiancata da una discontinua</i>	91
<i>Figura 3.20÷ a, b, c: Strice trasversali differenziate in relazione alle diverse informazioni trasmesse</i>	92
<i>Figura 3.21: Isole di traffico</i>	93
<i>Figura 3.22 : isola di traffico rialzata</i>	93
<i>Figura 3.23: Dispositivi retroriflettenti adibiti come supporto per la segnaletica orizzontale</i>	94
<i>Figura 3.24: Box Autovelox Mobile</i>	95
<i>Figura 3.25: Cartelli di preavviso per controllo elettronico della velocità</i>	95
<i>Figura 3.26: Dissuasore con misuratore di velocità</i>	95
<i>Figura 3.27: Cartello di preavviso in caso di dispositivo Tutor</i>	96
<i>Figura 4.1: Luogo del sinistro riportato tramite vista satellitare</i>	100
<i>Figura 4.2: Traiettorie percorse dal veicolo prima dell’impatto con la cuspide</i>	100
<i>Figura 4.3: Panoramica del furgone a seguito dell’urto in due angolazioni differenti</i>	102
<i>Figura 4.4: Dettaglio rinforzo in metallo cuspide</i>	103
<i>Figura 4.5: cuspide a seguito dell’impatto</i>	103
<i>Figura 4.6: Schema rappresentativo della fase di ribaltamento del furgone e posizione degli occupanti</i>	104
<i>Figura 4.7: Tracciato del mezzo</i>	105
<i>Figura 4.8: Pneumatico anteriore destro squarciato</i>	106
<i>Figura 4.9: Posizione finale del veicolo ribaltato con messa in risalto dello pneumatico lacerato</i>	106
<i>Figura 5.1: Attenuatore non parallelo CCSII</i>	111
<i>Figura 5.2: Attenuatore non parallelo CCSI</i>	111
<i>Figura 5.3: Attenuatore CCSI esensione PREALUX S.r.l.</i>	112
<i>Figura 5.4: Attenuatore CCSI altezza PREALUX S.r.l.</i>	112
<i>Figura 5.5: Attenuatore d’urto CCSII PREALUX S.r.l.</i>	113
<i>Figura 5.6: Schema di funzionamento del modello A.To.S.</i>	115
<i>Figura 5.7: Segnale di preavviso</i>	119
<i>Figura 5.8: Segnale di progressiva distanziometrica con annesse dimensioni</i>	119
<i>Figura 5.9: Segnale di itinerario</i>	120
<i>Figura 5.10 Segnale di conferma</i>	120
<i>Figura 5.11: Schema di installazione segnaletica verticale su carreggiata</i>	121

<i>Figura 5.12: Schema di installazione segnaletica verticale ai lati della carreggiata</i>	<i>121</i>
<i>Figura 5.13: Rappresentazione tipologia strisce longitudinali.....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 5.14: Strisce di margine della carreggiata.....</i>	<i>125</i>
<i>Figura 5.15: Strisce di raccordo.....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 5.16: Rappresentazione 3D di cuspidi realizzata correttamente</i>	<i>127</i>
<i>Figura 5.17: Delineatore flessibile per cantieri.....</i>	<i>127</i>
<i>Figura 5.18: Rappresentazione utilizzo di delineatori flessibili</i>	<i>128</i>
<i>Figura 5.19: Tavola 1c per distanziamento paletti flessibili.....</i>	<i>129</i>
<i>Figura 5.20: Bande ottiche di decelerazione</i>	<i>131</i>
<i>Figura 5.21: Segnaletica orizzontale Denti di Drago.....</i>	<i>132</i>
<i>Figura 5.22: Sistema Guardled.....</i>	<i>134</i>
<i>Figura 5.23: Sistema Guardled posto in prossimità di una rotatoria.....</i>	<i>135</i>
<i>Figura 6.1: Modellazione 3D dello svincolo realizzato conforme alla normativa italiana</i>	<i>140</i>
<i>Figura 6.2: Dettaglio dei delineatori flessibili definiti in fase progettuale.....</i>	<i>141</i>
<i>Figura 6.3: Modellazione dei “Denti di Drago” riadattati al caso studio</i>	<i>142</i>
<i>Figura 6.4: Guardled in condizioni notturne.....</i>	<i>143</i>
<i>Figura 6.5: Modellazione 3D delle barriere “intelligenti”</i>	<i>143</i>

INDICE DELLE TABELLE

<i>Tabella 1.1: cause accertate o presunte di incidente per categoria della strada (Istat)</i>	<i>15</i>
<i>Tabella 2.1: Tabella A- Barriere longitudinali in funzione al tipo di strada e traffico.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabella 2.2: Distinzione livelli di traffico.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabella 2.3: Classificazione attenuatori.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabella 2.4: Classe terminali speciali secondo EN 1317-3.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabella 2.5: Tabella contenente i fattori di riduzione della deformazione dinamica.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabella 2.6: Classificazione in relazione ai livelli di contenimento.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabella 2.7: Descrizione caratteristiche dei diversi livelli di contenimento.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabella 2.8: livelli di severità con annessi valori degli indici ASI e THIV</i>	<i>51</i>
<i>Tabella 2.9: Localizzazione delle deformazioni dell'abitacolo</i>	<i>52</i>
<i>Tabella 2.10: Valori numerici con relativi indici di Riduzione</i>	<i>53</i>
<i>Tabella 2.11: Dimensioni Box di uscita secondo normativa EN1317-2.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabella 2.12: Configurazioni che necessitano di una specifica protezione in funzione della sezione stradale.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabella 3.1: Dimensioni standard segnaletica stradale</i>	<i>81</i>
<i>Tabella 3.2: Distanza segnaletica in relazione alla tipologia di strada.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabella 3.3: Lunghezza tratti e intervalli per linee longitudinali discontinue</i>	<i>90</i>
<i>Tabella 5.1: Tabella velocità-distanza segnalatica di indicazione.....</i>	<i>118</i>
<i>Tabella 5.2: Tabella velocità-distanza per corsie di decelerazione</i>	<i>118</i>
<i>Tabella 5.3: Tipologie strisce longitudinali con intervalli e ambiti di applicabilità.....</i>	<i>123</i>

INDICE DELLE EQUAZIONI

<i>Equazione 1: calcolo livello di contenimento</i>	<i>48</i>
<i>Equazione 2: Calcolo indice ASI (Acceleration Severety Index).....</i>	<i>50</i>
<i>Equazione 3: Calcolo di ASI_{MAX}.....</i>	<i>50</i>
<i>Equazione 4: Calcolo indice THIV (Teoretical Head Impact Velocity)</i>	<i>51</i>
<i>Equazione 5: Equazione per il calcolo dell'Head Injury Criterion.....</i>	<i>54</i>
<i>Equazione 6: Calcolo lunghezza effettiva del box di uscita funzione delle dimensioni del veicolo ..</i>	<i>58</i>
<i>Equazione 7: Energia assorbita da attenuatore</i>	<i>110</i>
<i>Equazione 8: Vel. Assorbita.....</i>	<i>110</i>
<i>Equazione 9: Estensione corsia di decelerazione adeguata al tratto del caso studio.....</i>	<i>139</i>

BIBLIOGRAFIA

- [1] A. C. d. (ACI), *INCIDENTI STRADALI*, 2021.
- [2] A. C. I. (ACI), *Dati ISTAT anno 2019, 2020*.
- [3] ISTAT, *Le statistiche degli incidenti stradali in Italia dagli anni trenta d oggi*, Automobile Club d'Itali (ACI).
- [4] M. D. Mitri, «Incidenti stradali: i dati ACI-ISTAT e le statistiche europee.», 30 Luglio 2022. [Online].
- [5] M. d. I. e. d. Trasporti, «Decreto Ministeriale numero 2367 del 2004,» *La Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana* , 2016.
- [6] P. d. Repubblica, «Legge n. 181 del 21/4/1962,» *La Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana* , 1962.
- [7] M. d. L. Pubblici, «Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n° 2337 dell'11 luglio 1987,» *La Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana* , 1987.
- [8] M. D. L. PUBBLICI, «DECRETO 3 giugno 1998,» *La Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana* , 1998.
- [9] M. d. e. Trasporti, «circolare n.62032 del 21/07/2010,» 2010.
- [10] F. A. Santagata, «Dispositivi di ritenuta,» in *STRADE Teorie e Tecniche delle costruzioni stradali vol.2*, 2019, pp. 242-244.
- [11] C. Europea, «Direttiva 89/106/CEE,» 2005.
- [12] C. Europea, «Norma UNI EN 1340,» 2004 .
- [13] M. d. I. e. d. Trasporti, «Prot.n.2367,» *Normativa Nazionale Italiana*, 2004.
- [14] M. D. E. D. FINANZE, «Decreto Salva Motociclisti 10 maggio 2019,» *La Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*, 2019.
- [15] F. A. Santagata, «Attenuatori d'urto,» in *STRADE Teoria e tecnica delle costruzioni stradali vol.2*, pp. 253-255.
- [16] F. a. Santagata, «Terminali speciali,» in *STRADE Teoria e tecnica delle costruzioni stradali vol.2* , pp. 250-252.
- [17] C. Europea, «UNI EN 1317:2010 -4,» *Normativa Europea UNI EN* , 2010.
- [18] F. A. Santagata, «Transizioni,» in *STRADE Teoria e tecnica delle costruzioni stradali vol.2*, 2019, pp. 249-250.
- [19] F. A. Santagata, «Chiusura varchi,» in *STRADE – Teoria e tecnica delle costruzioni stradali vol.2*, 2019, pp. 252-253.
- [20] F. A. Santagata, «Prove d'urto e parametri convenzionali,» in *STRADE – Teoria e tecnica delle costruzioni stradali – Costruzione, gestione e manutenzione vol.2*, 2019, pp. 238-241.
- [21] ANAS, «DISPOSITIVI DI RITENUTA STRADALE,» *Quaderni Tecnici* , vol. Volume VI , 2019.

- [22] AISICO, *PROVE DINAMICHE PER LA VERIFICA, STRADE & AUTOSTRADE 5-2020*, 2020.
- [23] d. i. F. Maltinti, «Classificazione dei sistemi di ritenuta,» in *"Costruzione di Strade, ferrovie ed Aeroporti 1" AA 2012-2013*, 2013.
- [24] P. Colonna, «POLITECNICO DI BARI - Catalogo dei prodotti della Ricerca,» 1998. [Online].
- [25] ANAS, «Livelli di severità,» *Quaderni Tecnici Vol. VI*, vol. VI, 2019.
- [26] D. I. A. Brencich, «BARRIERE DI PROTEZIONI STRADALI,» in *Costruzioni di Infrastrutture per i Trasporti 1*, 2011.
- [27] M. d. e. d. Trasporti, «Decreto Ministeriale protocollo 6792 del 05/11/2001,» *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*, 2001.
- [28] F. A. Santagata, «Barriere di sicurezza longitudinali e visibilità in curva,» in *STRADE – Teoria e tecnica delle costruzioni stradali – Costruzione, gestione e manutenzione*, pp. 261-264.
- [29] C. D. APPALTI, D. Lgs.18/04/2016 “Piano di Manutenzione dell’Opera” Art. 38, 2016.
- [30] F. A. Santagata, «Manutenzione,» in *STRADE – Teoria e tecnica delle costruzioni stradali – Costruzione, gestione e manutenzione vol.2*, 2019.
- [31] Q. Motori, «la light smart barrier Andromeda,» 29 Giugno 2020. [Online].
- [32] A. P. L'ITALIA, «Dispositivi di sicurezza ANAS,» ANAS, 7 Aprile 2020. [Online].
- [33] P. d. Repubblica, «D.Lgs. del 30 aprile 1992, n. 285,» *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*, 1992 (ultimo agg. 2022).
- [34] P. d. Repubblica, «D.P.R del 16 dicembre del 1992 n. 495,» *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*, 1992 (ultimo agg.2021).
- [35] r. tecnica, «Titolo IV; Art.89 del D.Lgs. 81/08,» in *Testo Unico della Sicurezza sul Lavoro (TUSL)*, 2008.
- [36] d. S. e. d. I. Ministri del Lavoro, «D.M.22 Gennaio 2019,» *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*, 2019.
- [37] M. d. e. d. Trasporti, «D.M. 10 luglio 2002,» *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*, 2002.
- [38] P. d. Repubblica, «D.P.R., testo coordinato 16/12/1992 n° 495, G.U. 28/12/1992,» *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*, 1992.
- [39] A. SEGNALETICA, «MANUALE PER IL SEGNALEMENTO DEI CANTIERI STRADALI - ASSOSEGNALETICA.,» 2022. [Online].
- [40] A. p. l'Italia, «NUOVI STANDARD FINALIZZATI A MIGLIORARE LA SICUREZZA DEL TRAFFICO,» [Online].
- [41] «D.lgs. 30 aprile 1992, n. 285; Art. 40. : Segnali orizzontali,» *Codice della Strada*, 1992.
- [42] F. A. Santagata, «Strisce longitudinali,» in *STRADE – Teoria e tecnica delle costruzioni stradali – Costruzione, gestione e manutenzione vol.2*, 2019, pp. 286-287.
- [43] M. d. Interni, «Circolare n. 300/A/5620/17/144/5/20/3 del 21/07/2017,» 2017.

- [44] PREALUX, *Passion for Road Safety - Attenuatori d'Urto, Bergamo* .
- [45] «D.Lgs 30 aprile 1992, n. 285 - Art.176,» *CODICE DELLA STRADA*, vol. Titolo V, 1992.
- [46] «Allegato II,» *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana* .
- [47] A. p. l'Italia, «Tecnologie per l'ancoraggio delle barriere bordo laterale,» *Segnaletica e Sicurezza*, 15 Luglio 2022.
- [48] P. d. Repubblica, «Art. 39: Segnali verticali,» *Codice della Strada* , 1992.
- [49] «Art. 126. - Posizionamento dei segnali di indicazione (art. 39 C.s.),» *Codice della Strada* .
- [50] «Art. 40. : Segnali orizzontali,» *Codice della Strada* , 1992.
- [51] «Regolamento di esecuzione e di attuazione del nuovo codice della strada Art.42,» *Codice della Strada*, 1992.
- [52] MotoriOnline, «Guardled, nuova tecnologia d'illuminazione per autostrade,» 14 Ottobre 2021. [Online].
- [53] P. d. Repubblica, «Decreto Legislativo 5 ottobre 2006 n. 264;,» *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*, 2006.