

1 OGGETTO

Il presente documento ha come oggetto l'analisi degli aspetti connessi con le esigenze di sicurezza secondo quanto previsto dal DM del 22.04.2004¹ di modifica delle "Norme geometriche e funzionali per la costruzione delle strade" (DM del 5.11.2001, prot. 6792) relativamente al progetto di ampliamento alla terza corsia dell'Autostrada A13 Bologna – Padova, nel tratto Monselice – Padova sud.

Il decreto infatti modifica l'art. 2 e l'art. 3 del DM 6792/2001, stabilendo che le norme in oggetto si applicano per la costruzione di nuovi tronchi stradali e prevedendo (art. 3) la predisposizione di nuove norme per gli interventi di adeguamento delle strade esistenti.

Il DM del 22.04.2004 stabilisce inoltre (art. 4) che, fino all'emanazione delle suddette norme, i progetti di adeguamento delle strade esistenti devono contenere una specifica relazione dalla quale risultino analizzati gli aspetti connessi con le esigenze di sicurezza, attraverso la dimostrazione che l'intervento, nel suo complesso, è in grado di produrre, oltre che un miglioramento funzionale della circolazione, anche un innalzamento del livello di sicurezza.

2 PREMESSA

L'analisi in oggetto è stata sviluppata andando a definire per tutti gli aspetti connessi con la sicurezza stradale degli **indicatori globali** delle performance di sicurezza offerte dalla futura infrastruttura in funzione delle scelte progettuali sviluppate nel progetto definitivo, al fine di poter valutare, nello spirito di quanto richiesto dal DM del 22.04.2004, l'innalzamento del livello di sicurezza che l'intervento nel suo complesso deve realizzare.

¹ pubblicato sulla GU n. 147 del 25-6-2004

3 DESCRIZIONE DELL'INFRASTRUTTURA ESISTENTE

L'autostrada A13 Bologna – Padova è stata realizzata negli anni '60 – '70 e serve i territori attraversati, garantendone lo sviluppo sia industriale che turistico e definendo un collegamento funzionale tra il Nord-Est ed il nodo di Bologna.

Il tratto autostradale dell'A13 interessato dall'intervento svolge la funzione di connessione con il territorio attraverso gli svincoli autostradali di Monselice (km 88+600) e Terme Euganee (km 95+030) e di interconnessione con l'A4 a sud di Padova.

3.1 Caratteristiche plano-altimetriche

L'intervento si sviluppa dalla progressiva 88+600 (in corrispondenza dello svincolo di Monselice) fino alla progressiva 100+850 (in corrispondenza dell'interconnessione A13/A4) per una lunghezza complessiva pari a circa 12 km.

L'andamento planimetrico si presenta piuttosto filante, con alcune curve sprovviste di raccordi clotoidici e valori del raggio piuttosto elevati: da un minimo di circa 1500 m ad un valore massimo di circa 5000m.

In Tabella 1 vengono sintetizzate le caratteristiche degli elementi planimetrici che compongono l'asse autostradale. In colonna (5) è riportato il tipo di elemento planimetrico considerato (R = Rettifilo, C = Curva Circolare). In colonna (7) è indicato il verso di percorrenza delle curve circolari nella direzione delle progressive crescenti (DX = curva destrorsa, SX = curva sinistrorsa).

Elem	ProgrInizio (m)	ProgrFine (m)	Lungh. (m)	TipoElem	Parametro	Vs
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	88,600.000	89,667.898	1067.898	R		
2	89,667.898	89,881.427	213.528	AT	565.00	
3	89,881.427	90,202.130	320.703	C	1495.00	DX
4	90,202.130	90,400.809	198.679	AT	545.00	
5	90,400.809	92,028.335	1627.526	R		
6	92,028.335	92,145.400	117.065	AT	535.00	
7	92,145.400	92,567.081	421.681	C	2445.00	DX
8	92,567.081	92,732.000	164.918	AT	635.00	
9	92,732.000	94,462.873	1730.874	R		
10	94,462.873	94,566.116	103.242	AT	550.00	
11	94,566.116	94,826.363	260.248	C	2930.00	DX
12	94,826.363	94,929.605	103.242	AT	550.00	
13	94,929.605	96,551.329	1621.723	R		
14	96,551.329	97,065.741	514.412	C	2175.00	SX
15	97,065.741	97,160.925	95.184	AT	455.00	
16	97,160.925	98,974.027	1813.102	R		
17	98,974.027	99,219.110	245.083	C	5000.00	DX
18	99,219.110	99,347.110	128.000	AT	800.00	
19	99,347.110	100,855.171	1508.061	R		

Tabella 1 - Riepilogo caratteristiche planimetriche

Con riferimento all'andamento altimetrico il tracciato è caratterizzato da livellette di pendenza ridotta e raccordi altimetrici prevalentemente ad ampio raggio.

3.2 Organizzazione della sezione trasversale

La sezione esistente è caratterizzata da due carreggiate, ciascuna composta da una corsia di marcia lenta e una di sorpasso di larghezza 3.75m, oltre alla corsia di emergenza da 2.50m. Il margine interno ha una larghezza complessiva pari a 2.45m con spartitraffico da 1.55m e banchine in sinistra da 45cm.

Il pavimentato totale è di 10.45m per ciascuna carreggiata, per una larghezza complessiva della piattaforma stradale pari a 22.45m (vedi Figura 1). I tratti in viadotto mantengono la sezione tipo del pavimentato corrente.

La pendenza trasversale in rettilineo risulta variabile (pt media pari a 2.00%).

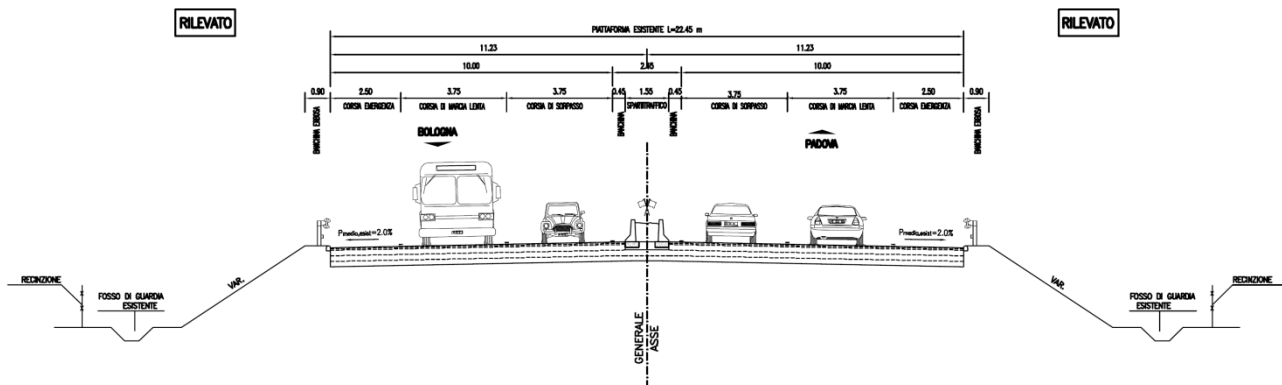


Figura 1 – Sezione tipo esistente

4 INTERVENTO DI AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA (IL PROGETTO)

Il progetto di potenziamento e ammodernamento dell'autostrada A13, nella tratta compresa fra lo Svincolo di Monselice e l'Interconnessione A13/A4 (circa 12.5 km di sviluppo), prevede un ampliamento alla terza corsia per la maggior parte di tipo simmetrico, ad eccezione dell'asta in corrispondenza dello Svincolo di Terme Euganee dove è previsto un ampliamento totalmente asimmetrico lato carreggiata direzione Padova.

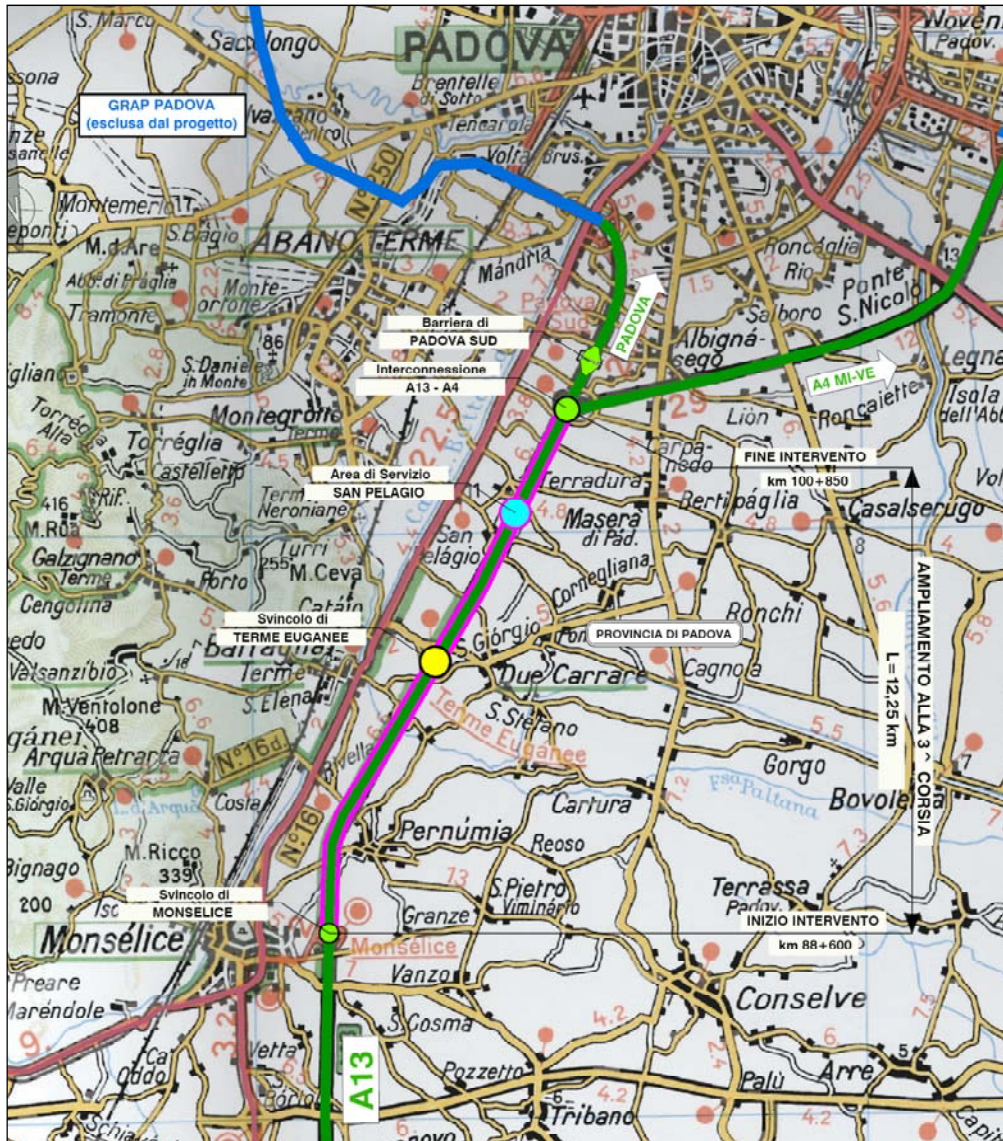


Figura 2 – Inquadramento territoriale

Conseguentemente all'intervento di ampliamento autostradale, il progetto prevede l'adeguamento dello Svincolo di Monselice, dello Svincolo di Terme Euganee, dell'Area di Servizio S. Pelagio e l'allaccio all'Interconnessione A13/A4.

4.1 Caratteristiche plano-altimetriche

L'andamento planimetrico ricalca sostanzialmente l'esistente, fatta eccezione del tratto centrale, compreso fra le progressive 94+477 e 97+155 circa.

La piattaforma di progetto viene modellata con due assi di tracciamento sostanzialmente paralleli, con progressivazione crescente in direzione Nord (da Bologna verso Padova).

In Tabella 2 e 3 vengono sintetizzate le caratteristiche degli elementi planimetrici che compongono gli assi autostradali. In colonna (5) è riportato il tipo di elemento planimetrico considerato utilizzando le seguenti abbreviazioni:

- R = Rettifilo
- C = Curva Circolare
- AT = Clotoide di Transizione
- AF = Clotoide di Flesso
- AC = Clotoide di Continuità

In colonna (7) è indicato il verso di percorrenza delle curve circolari nella direzione delle progressive crescenti (DX = curva destrorsa, SX = curva sinistrorsa) mentre in colonna (8) il valore di pendenza trasversale.

Elem	ProgrInizio (m)	ProgrFine (m)	Lungh. (m)	TipoElem	Parametro	Vs	ic	Vp
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	88,600.000	89,667.919	1067.919	R				140.0
2	89,667.919	89,881.305	213.386	AT	564.43			140.0
3	89,881.305	90,201.441	320.136	C	1493.00	DX	5.29	140.0
4	90,201.441	90,399.987	198.546	AT	544.45			140.0
5	90,399.987	92,027.604	1627.617	R				140.0
6	92,027.604	92,144.621	117.017	AT	534.67			140.0
7	92,144.621	92,565.900	421.278	C	2443.00	DX	3.86	140.0
8	92,565.900	92,730.750	164.851	AT	634.61			140.0
9	92,730.750	94,476.999	1746.248	R				140.0
10	94,476.999	94,578.198	101.200	AT	449.66			140.0
11	94,578.198	94,725.082	146.884	C	1998.00	DX	4.39	140.0
12	94,725.082	94,826.281	101.200	AT	449.66			140.0
13	94,826.281	96,291.870	1465.589	R				140.0
14	96,291.870	96,773.150	481.280	AT	1045.69			140.0
15	96,773.150	97,084.565	311.415	C	2272.00	SX	4.05	140.0
16	97,084.565	97,155.081	70.516	AT	400.26			140.0
17	97,155.081	98,954.558	1799.477	R				140.0
18	98,954.558	98,995.048	40.491	AT	449.86			140.0
19	98,995.048	99,220.062	225.014	C	4998.00	DX	2.50	140.0
20	99,220.062	99,348.036	127.974	AT	799.76			140.0
21	99,348.036	100,471.205	1123.169	R				140.0
22	100,471.205	100,588.131	116.926	C	10250.00	DX	2.50	140.0
23	100,588.131	100,807.356	219.225	AC	430.00			140.0
24	100,807.356	100,868.723	61.367	C	779.30	DX	7.00	128.1

Tabella 2 - Asse Nord: elementi planimetrici

Elem	ProgrInizio (m)	ProgrFine (m)	Lungh. (m)	TipoElem	Parametro	Vs	ic	Vp
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	88,600.000	89,667.777	1067.777	R				140.0
2	89,667.777	89,881.448	213.671	AT	565.57			140.0
3	89,881.448	90,202.718	321.270	C	1497.00	DX	5.28	140.0
4	90,202.718	90,401.529	198.812	AT	545.55			140.0
5	90,401.529	92,028.965	1627.436	R				140.0

Elem	ProgrInizio (m)	ProgrFine (m)	Lungh. (m)	TipoElem	Parametro	Vs	ic	Vp
6	92,028.965	92,146.079	117.113	AT	535.33			140.0
7	92,146.079	92,568.162	422.084	C	2447.00	DX	3.86	140.0
8	92,568.162	92,733.148	164.986	AT	635.39			140.0
9	92,733.148	94,479.278	1746.130	R				140.0
10	94,479.278	94,580.579	101.301	AT	450.34			140.0
11	94,580.579	94,727.858	147.279	C	2002.00	DX	4.39	140.0
12	94,727.858	94,829.158	101.301	AT	450.34			140.0
13	94,829.158	96,294.909	1465.750	R				140.0
14	96,294.909	96,775.765	480.856	AT	1044.31			140.0
15	96,775.765	97,086.389	310.624	C	2268.00	SX	4.05	140.0
16	97,086.389	97,156.843	70.454	AT	399.74			140.0
17	97,156.843	98,956.342	1799.499	R				140.0
18	98,956.342	98,996.850	40.508	AT	450.13			140.0
19	98,996.850	99,222.076	225.226	C	5002.00	DX	2.50	140.0
20	99,222.076	99,350.102	128.026	AT	800.24			140.0
21	99,350.102	100,446.768	1096.666	R				140.0
22	100,446.768	100,543.915	97.147	C	10250.00	DX	2.50	140.0
23	100,543.915	100,609.447	65.533	R				140.0
24	100,609.447	100,772.280	162.833	AT	357.00			140.0
25	100,772.280	100,853.143	80.863	C	782.70	DX	7.00	128.4

Tabella 3 - Asse Sud: elementi planimetrici

Con riferimento alle caratteristiche altimetriche il progetto ha sostanzialmente previsto il mantenimento del profilo longitudinale esistente.

4.2 Organizzazione della sezione trasversale

La sezione tipo stradale prevede una piattaforma di 32.50 metri di larghezza, organizzata in due carreggiate separate da spartitraffico con barriera di sicurezza metallica disposta su due file (margine interno complessivamente pari a 4.00m). Ciascuna carreggiata prevede tre corsie di marcia da 3.75m, fiancheggiate in destra dalla corsia di emergenza larga 3.00m ed in sinistra da una banchina di 0.75m.

Il progetto prevede quindi l'allargamento del margine interno ad un valore di 4.00m e l'adeguamento dello spartitraffico ad una larghezza pari a 2.60m.

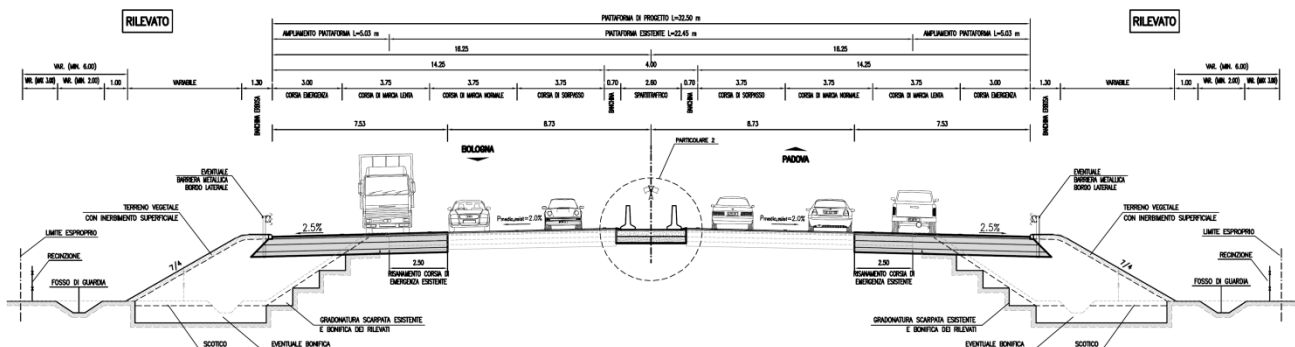


Figura 3 - Sezione tipo ampliamento simmetrico

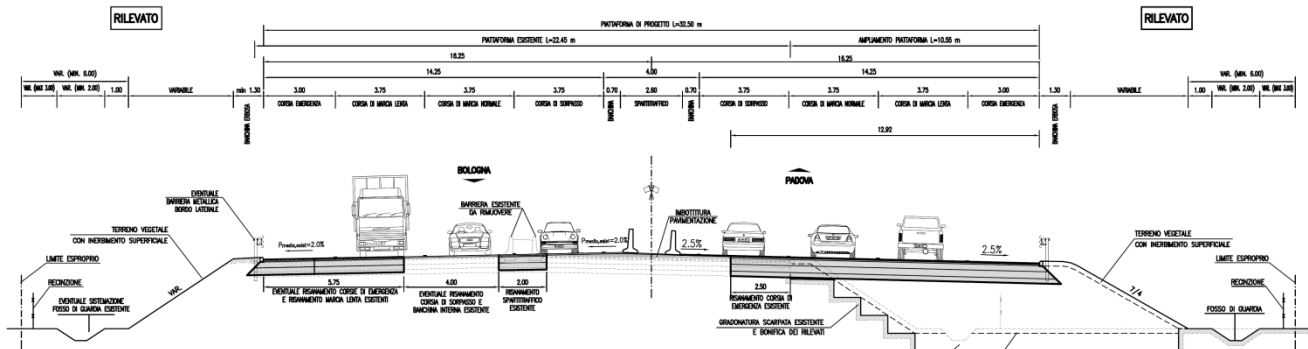


Figura 4 - Sezione tipo ampliamento asimmetrico

Il progetto prevede l'adeguamento delle pendenze trasversali dei tratti in curva (ed in clotoide), mentre sui tratti in rettilineo si mantiene invariata la pendenza trasversale nei tratti in cui si conserva la pavimentazione esistente. Sui tratti in ampliamento ed in generale laddove è previsto un intervento di risanamento profondo della pavimentazione si imporrà una pendenza pari al 2.50%, coerente con la normativa di riferimento.

 <small>gruppo Atlantia</small>	<p style="text-align: right;"> AUTOSTRADA "A13": BOLOGNA – PADOVA Ampliamento alla 3^a corsia Tratto: Monselice – Padova sud </p> <p style="text-align: right;">Progetto definitivo</p>
---	---

5 ANALISI DEGLI ASPETTI CONNESSI CON LE ESIGENZE DI SICUREZZA

5.1 Indicatori globali di sicurezza

Nel seguito sarà stimato l'incremento del livello di sicurezza attuato dal progetto rispetto all'infrastruttura esistente tramite la valutazione di **indicatori globali** delle performance di sicurezza.

5.1.1 Condizioni di deflusso e livelli di servizio

Il miglioramento delle condizioni di deflusso previsto dall'ampliamento alla 3^a corsia ha implicazioni sulla sicurezza stradale.

Le condizioni di circolazione associate a livelli di servizio più elevati, caratterizzati da più limitati condizionamenti reciproci tra veicoli, nelle quali l'utente gode di maggiore libertà nella scelta del suo comportamento, generano infatti confort di guida più elevati e carichi di lavoro (workload) meno critici che possono ridurre le probabilità di accadimento di un evento incidentale.

Inoltre, il parametro che maggiormente interviene nella definizione del livello di servizio da associare ad un tronco stradale è la densità veicolare² e conseguentemente livelli di servizio più elevati corrispondono a basse densità veicolari e distanziamenti elevati. In tali condizioni di deflusso si riducono le interazioni tra le correnti veicolari e, all'interno della medesima corrente, diminuisce la probabilità di tamponamento tra veicoli, in quanto se il veicolo che precede (leader) effettua una decelerazione anomala, il veicolo che segue (follower) ha tempo sufficiente per riconoscere la situazione di pericolo e frenare in sicurezza.

Sulla base di quanto riportato nello studio di traffico sviluppato nell'ambito del Progetto Definitivo nello scenario programmatico definito dalla crescita della domanda ma senza potenziamento dell'A13 nel tratto in oggetto con riferimento allo scenario di medio-lungo termine 2035-2045, le condizioni di deflusso sono caratterizzate, nella fasce orarie diurne, da un livello di servizio medio pari a LOS B/C con livelli di tipo D nell'ora di punta della mattina in carreggiata nord nella tratta Terme Euganee - Padova.

Nello scenario progettuale di medio-lungo termine 2035-2045, le condizioni di deflusso sono caratterizzate, nella fasce orarie diurne, da un livello di servizio medio pari a LOS A/B con livelli di tipo C nell'ora di punta della mattina in carreggiata nord nella tratta Terme Euganee - Padova.

La realizzazione del progetto di potenziamento porterà pertanto l'infrastruttura, anche nel lungo periodo, a funzionare nelle punte di traffico in una situazione di traffico stabile, con conseguente riduzione dell'incidentalità potenziale rispetto all'ipotesi di non intervento.

5.1.2 Caratteristiche geometriche

Per quanto riguarda le caratteristiche degli elementi geometrici che caratterizzano l'asse autostradale si sono individuati i seguenti aspetti che hanno implicazioni dirette sulla sicurezza

² Cfr. "Highway Capacity Manual 2000" (Chapter 23 - Basic Freeway Segment), Transportation Research Board.

stradale e che possono migliorare le performance offerte dal progetto rispetto all'infrastruttura esistente:

- Inserimento di curve a raggio variabile (raccordi clotoidici);
- Congruenza delle velocità di progetto tra elementi di tracciato consecutivi;
- Innalzamento delle pendenze trasversali;
- Adeguamento delle corsie specializzate di immissione e diversione.

Le analisi geometriche riportate nei paragrafi successivi saranno sviluppate fino alla progressiva km 100+450 circa in approccio all'interconnessione A13/A4.

5.1.2.1 Curve a raggio variabile (raccordi clotoidici)

Il primo aspetto è legato all'interposizione tra due elementi a raggio costante (curve circolari, ovvero rettilineo e curva circolare) di curve a raggio variabile (raccordi clotoidici) opportunamente dimensionate.

Questo permette di garantire il contenimento entro valori accettabili della variazione dell'accelerazione centrifuga non compensata (contraccolpo) e della pendenza (o sovrappendenza) longitudinale delle linee di estremità della piattaforma, annullando effetti dinamici indesiderati che possono avere ripercussioni sulle corrette traiettorie veicolari e quindi riducendo la probabilità di accadimento di un evento incidentale.

5.1.2.2 Curvatura degli elementi planimetrici

L'analisi di sicurezza ha valutato le caratteristiche planimetriche degli elementi geometrici in termini di raggi di curvatura. Andando infatti a considerare la pericolosità caratteristica degli elementi che compongono l'asse stradale, è riconoscibile un rapporto tra l'incidentalità ed i parametri che caratterizzano le curve circolari con particolare riferimento al raggio della curva. In particolare, è facile riscontrare che il tasso di incidentalità in curva aumenta in corrispondenza di curve di raggio ridotto.

Il tracciato attuale presenta un andamento planimetrico caratterizzato da curve di ampio raggio con un valore minimo pari a 1500m.

Non si ritiene che viste le caratteristiche del tracciato attuale questo parametro possa essere significativamente correlato all'incidentalità.

5.1.2.3 Congruenza delle velocità di progetto

Il progetto di ampliamento è intervenuto modificando le pendenze trasversali delle curve circolari. Questo, oltre a garantire condizioni di maggiore sicurezza rispetto allo sbandamento di un veicolo (vedi paragrafo successivo), consente di migliorare la congruenza in termini di velocità di progetto rispetto a quanto offerto dall'infrastruttura esistente.

L'opportunità di verificare la congruenza delle variazioni di velocità tra un elemento e l'altro del tracciato, oltre ad essere suggerita dalle normative più evolute (*DM 6792/2001, Norma Svizzera SN 640 080 b*), scaturisce da molteplici studi nel campo della sicurezza stradale, che hanno

indagato la relazione tra incidentalità e caratteristiche dell'asse stradale. Emerge, infatti, che l'incidentalità non è semplicemente legata alla pericolosità intrinseca degli elementi geometrici, ma risulta evidente come questa sia connessa alla mancanza di coerenza tra gli elementi stessi. Sintomatiche condizioni di rischio sono state riscontrate nel caso di una sequenza planimetrica di elementi non coordinati; in particolare, un tratto curvilineo di raggio ridotto risulta molto più pericoloso quando è preceduto da un lungo rettilineo rispetto a quando è inserito all'interno di una successione di curve di raggio simile.

Sulla base di quanto suddetto si è proceduto a determinare sia per il tracciato di progetto che per il tracciato esistente il diagramma delle velocità (rappresentazione grafica dell'andamento della velocità di progetto in funzione della progressiva dell'asse stradale). La determinazione del modello semplificato di variazione della velocità lungo il tracciato si basa sulle ipotesi contenute al paragrafo 5.4. delle "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" considerando come intervallo di velocità 90-140 km/h (Autostrada extraurbana – categoria A).

In particolare, per il tracciato di progetto, la velocità delle curve circolari è stata determinata sulla base della pendenza trasversale indicata dalla norma per un dato valore del raggio planimetrico mentre per il tracciato esistente le velocità "di progetto" lungo le curve circolari sono state calcolate facendo riferimento alla stessa procedura ma sulla base delle pendenze trasversali esistenti (vedi Figura 5 e Figura 6).

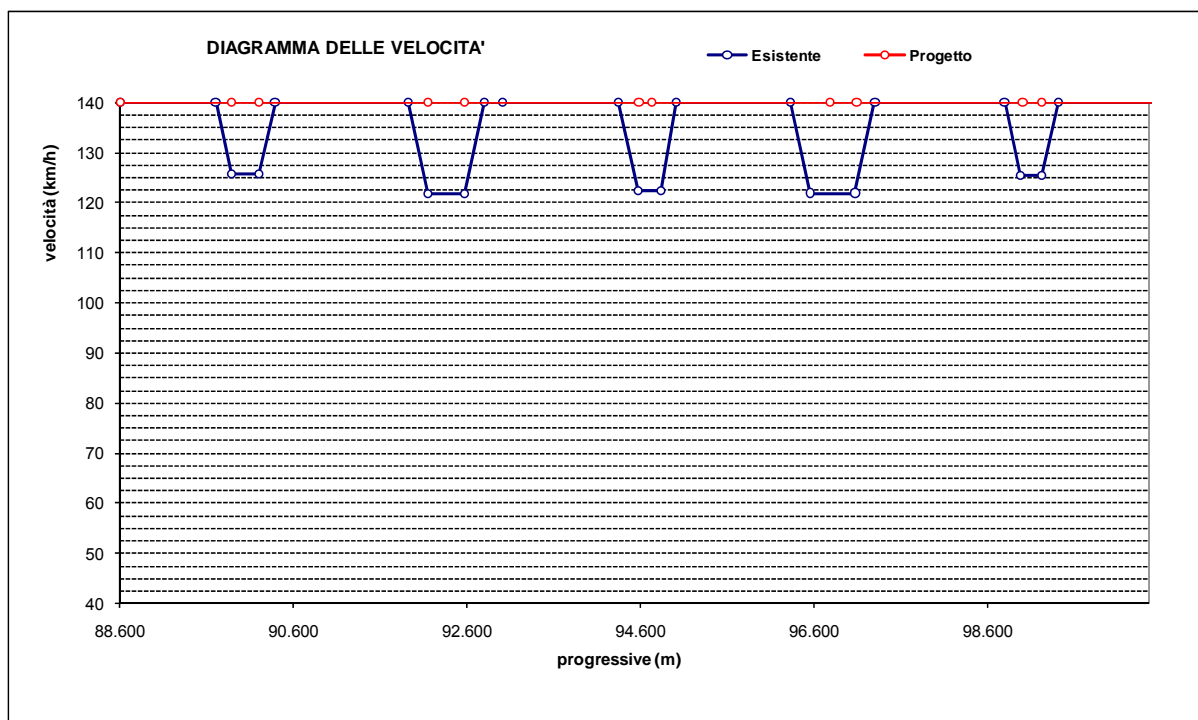


Figura 5 – Diagramma velocità carreggiata nord, confronto tra esistente e progetto

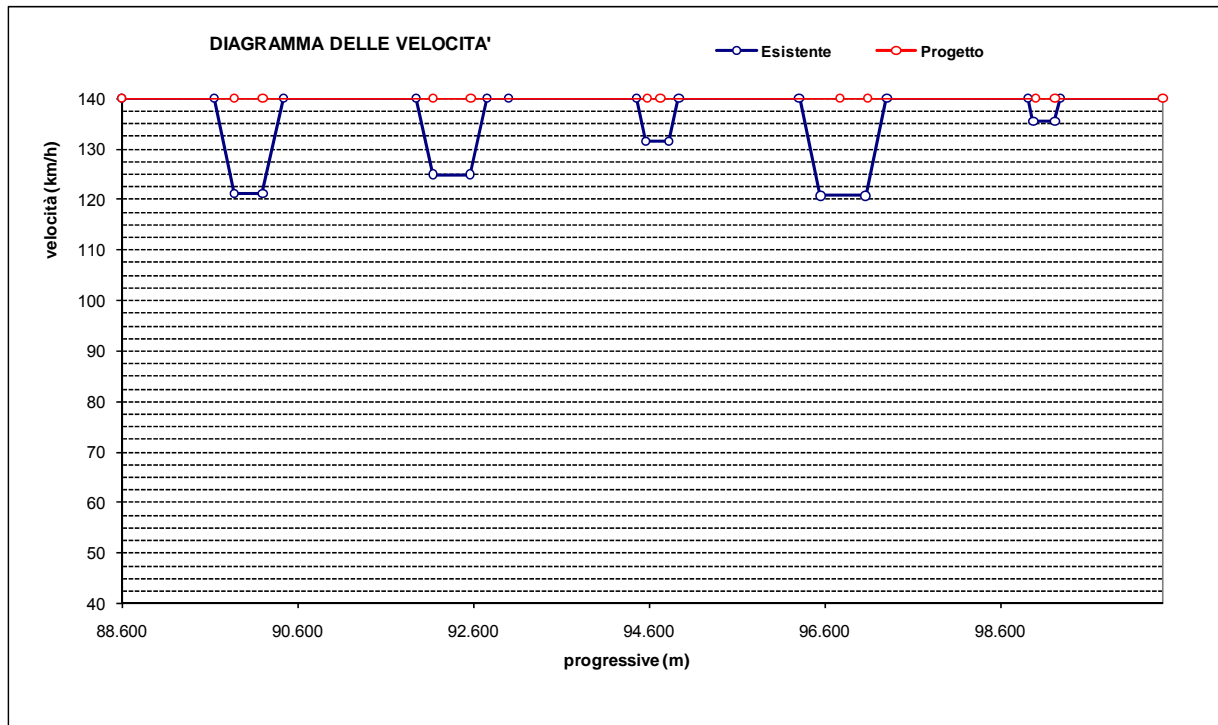


Figura 6 – Diagramma velocità carreggiata sud, confronto tra esistente e progetto

Successivamente, si sono analizzate le variazioni di velocità da tratti percorsi alla velocità di progetto massima ($V_{p,max}$) a curve a velocità inferiore.

In Figura 7 vengono sintetizzati i risultati ottenuti.

1. variazione velocità di progetto da tratti a $V_{p,max}$ a curve a velocità inferiore

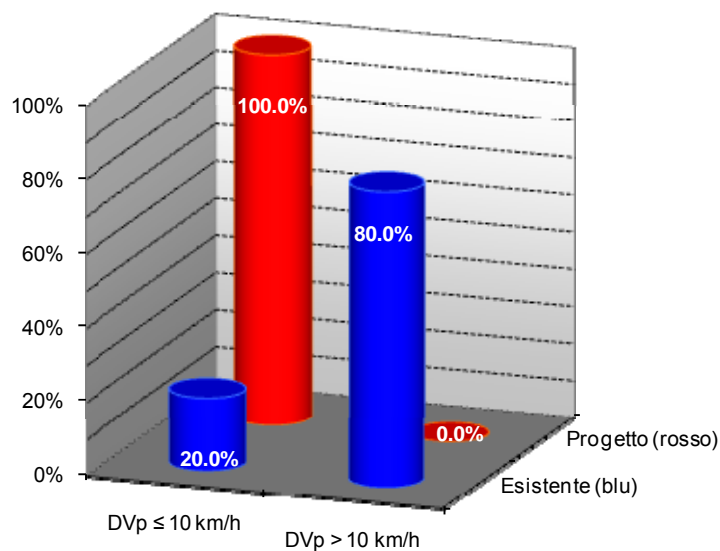


Figura 7 – Variazioni di velocità di progetto da tratti a $V_{p,max}$ a curve a velocità inferiore

Emerge in particolare che, per quanto riguarda il tracciato di progetto, sviluppato con l'intenzione di risolvere tutte le criticità dinamiche legate all'andamento delle velocità di progetto, vi è stato un miglioramento che si configura nel mantenimento di una velocità di progetto pari a quella massima lungo tutto il tracciato.

5.1.2.4 Innalzamento pendenze trasversali

Nelle curve circolari il progetto definitivo prevede l'adeguamento delle pendenze trasversali con riferimento a quanto indicato dal D.M. 6792/2001 "Norme geometriche e funzionali per la costruzione delle strade" (DM del 5.11.2001, prot. 6792).

Questo comporta in corrispondenza delle curve circolari maggiori sopraelevazioni, a parità di raggio, rispetto alle pendenze esistenti e quindi una maggiore sicurezza in termini di equilibrio allo sbandamento.

L'equilibrio in curva allo sbandamento di un veicolo stradale (vedi Figura 8) è dovuto, infatti, all'opposizione all'azione centrifuga di due forze stabilizzanti, l'aderenza tra ruote pneumatiche e pavimentazione e la componente parallela al piano della forza peso. Le due forze stabilizzanti hanno però natura e caratteristiche diverse: l'aderenza è una forza di contatto, mentre il peso del veicolo è una forza di massa. Tale differenza comporta una qualificazione diversa sotto il profilo della stabilità dell'equilibrio, in quanto l'azione del peso dipende da una proprietà intrinseca ed invariante del corpo in movimento, mentre l'aderenza è soggetta a subire improvvisi decadimenti, per effetto di fattori esogeni, ed in particolare per la possibile interposizione di acqua od inquinanti al contatto.

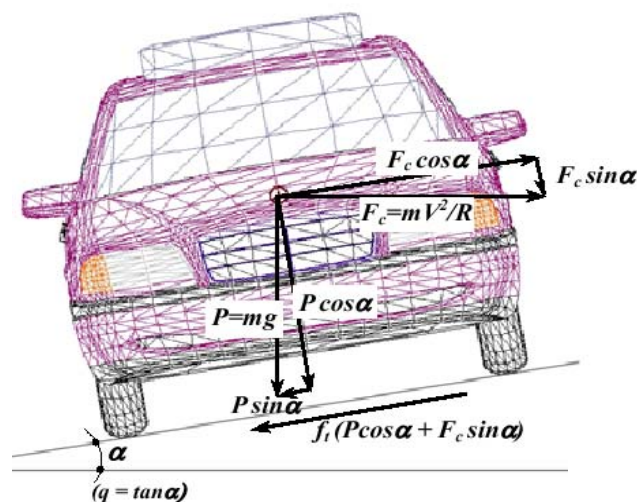


Figura 8 – Equilibrio del veicolo in curva

Per tenere conto dell'incertezza rispetto all'effettiva disponibilità di aderenza al contatto tra ruota e pavimentazione le normative più recenti prevedono di elevare il contributo, sempre garantito, rappresentato dalla sopraelevazione trasversale, con conseguente incremento dei valori della velocità limite allo sbandamento.

Emerge che già oggi le curve sono caratterizzate da valori di sbandamento in curva elevati superiori a 140 km/h.

 <p>spea ENGINEERING gruppo Atlantia</p>	<p style="text-align: right;">AUTOSTRADA "A13": BOLOGNA – PADOVA Ampliamento alla 3^a corsia Tratto: Monselice – Padova sud</p> <p style="text-align: right;">Progetto definitivo</p>
---	---

5.1.2.5 Adeguamento delle corsie specializzate di immissione e diversione

In corrispondenza di tutte le intersezioni (svincoli ed aree di servizio) le corsie specializzate sono state adeguate e dimensionate nel rispetto dei criteri geometrici, cinematici e funzionali indicati dalla normativa di riferimento. In queste aree particolarmente complesse per la circolazione autostradale e dove normalmente si registrano valori incidentali più elevati rispetto ai tratti adiacenti, questo consentirà all'utenza di eseguire manovre in condizioni di maggior sicurezza, in particolare per quanto riguarda le immissioni, dove le verifiche funzionali hanno evidenziato la sussistenza di livelli di servizio tali da non generare scadimenti delle condizioni di circolazione.

5.1.3 Analisi di visibilità per l'arresto

Un ulteriore elemento di valutazione del livello di sicurezza offerto dal progetto è rappresentato dal confronto delle performance in termini di visibilità per l'arresto offerte dal progetto rispetto all'infrastruttura esistente.

L'incremento delle dimensioni della corsia di emergenza (da 2.50 a 3.00) e delle banchine interne (da 0.45 a 0.70) consentono un lieve miglioramento rispetto alla configurazione attuale che comunque già oggi garantisce adeguate distanze di visuale libera in corrispondenza delle curve circolari.

5.1.4 Barriere di sicurezza

Il progetto definitivo prevede l'impiego di dispositivi di contenimento rispondenti alle prescrizioni contenute nelle "Istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza e prescrizioni tecniche per le prove ai fini dell'omologazione" (D.M. n° 223 del 18/2/1992 e successive modificazioni ed integrazioni³).

Le dimensioni dei margini della carreggiata autostradale dimensionate per essere adeguate ai valori previsti dalla normativa di riferimento consentono il regolare funzionamento del sistema rappresentato dalla barriere di sicurezza e dal supporto o fondazione alla quale il dispositivo si collega.

Il funzionamento dei dispositivi di sicurezza previsti dal progetto, realizzato mediante impiego di barriere di sicurezza adeguate ai sensi della normativa in materia, scelte in base alle caratteristiche del traffico e della categoria dell'infrastruttura in progetto, assieme ad un corretto dimensionamento degli spazi di funzionamento e ad una corretta messa in opera, rappresenta sicuramente un innalzamento del livello di sicurezza rispetto all'infrastruttura esistente.

Con riferimento alla sicurezza stradale quanto detto può tradursi in una riduzione del danno connesso con l'accadimento di un evento incidentale (in quanto i dispositivi passivi di ritenuta non intervengono direttamente sulla riduzione dell'incidentalità) in termine di diminuzione del numero di

³ Le "Istruzioni tecniche" sono state recentemente modificate dal DM n. 2367 del 21/06/2004, "Aggiornamento delle istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza e le prescrizioni tecniche per le prove delle barriere di sicurezza stradale". (GU n. 182 del 5-8-2004)

 <p>spea ENGINEERING gruppo Atlantia</p>	<p>AUTOSTRADA "A13": BOLOGNA – PADOVA Ampliamento alla 3^a corsia Tratto: Monselice – Padova sud</p> <p style="text-align: right;">Progetto definitivo</p>
---	--

perdite di vite umane coinvolte direttamente o indirettamente nell'incidente, di minimizzazione dei danni all'infrastruttura e dei disagi alla circolazione.

5.1.5 Pavimentazioni

Il progetto definitivo prevede nel tratto in oggetto il rifacimento del manto di usura drenante per tutta la larghezza della piattaforma; ciò consente di realizzare un miglioramento in termini di sicurezza stradale e di conseguenza di limitare l'accadimento di eventi incidentali per sbandamento dei veicoli per perdita di contatto tra ruota pneumatica e pavimentazione (aquaplaning); inoltre limita sensibilmente la comparsa di fenomeni di nebulizzazione (spray) e di abbagliamento da riflesso sulla superficie bagnata che possono ridurre sensibilmente la visibilità.

Per questo aspetto è dunque lecito attendersi un incremento del livello di sicurezza.

5.1.6 Segnaletica stradale

Il progetto prevede l'installazione di una nuova segnaletica, sia orizzontale che verticale, in base a quanto previsto nel Codice della Strada (D. Lgs. 30 aprile 1992, n. 285 e successive modifiche), nel relativo Regolamento di esecuzione ed attuazione (D.P.R. 16 dicembre 1992, n. 495 e succ. mod.).

Il rinnovo della segnaletica attuale consentirà di ripristinare a pieno le caratteristiche prestazionali, in particolare quelle di retro riflessione, e conseguentemente di garantire avvistabilità e leggibilità anche in condizione di scarsa visibilità ed illuminazione, con evidenti benefici sulla sicurezza della circolazione.

 <small>gruppo Atlantia</small>	AUTOSTRADA "A13": BOLOGNA – PADOVA Ampliamento alla 3^a corsia Tratto: Monselice – Padova sud Progetto definitivo
---	--

5.2 Individuazione dei livelli di incidentalità e descrizione dei miglioramenti introdotti in progetto

Una ulteriore valutazione del miglioramento in termini di sicurezza stradale riferibile all'intervento in oggetto è rappresentato dall'analisi di incidentalità condotta sull'intero tratto di Autostrada A13 tra Monselice e Padova Sud, che ha permesso di individuare, per ogni sezione di sviluppo pari a 1000m (fascia chilometrica), i livelli di incidentalità con riferimento al tasso medio (TIG) della rete autostradale direttamente gestita da Autostrade per l'Italia.

5.2.1 Analisi di incidentalità

La presente analisi ha analizzato il fenomeno dell'incidentalità stradale con riferimento a due diversi indicatori:

- tasso di incidentalità, raffrontato con i livelli incidentali definiti secondo la procedura indicata dalla bozza delle "Norme per la classificazione funzionale delle strade esistenti";
- frequenza incidentale, confrontata con le diverse soglie individuate da Autostrade per l'Italia per l'individuazione di punti ad incidentalità superiore alla media (PISM).

In assenza di riferimenti cogenti con i quali effettuare valutazioni relative all'incidentalità che caratterizza l'infrastruttura in oggetto, è stata adottata (ed adattata) la procedura riportata nell'Allegato 2 della bozza delle "Norme per la classificazione funzionale delle strade esistenti" (già D.P.CNR N. 13465 del 11/09/1995 - Criteri per la classificazione della rete delle strade esistenti ai sensi dell'Art.13, comma 4 e 5 del Nuovo Codice della Strada").

La procedura utilizzata per l'analisi è descritta in Appendice B.

Con riferimento a quanto previsto dal già citato allegato 2 (che raccomanda di basare le analisi incidentali su dati relativi ad almeno cinque anni), l'analisi è stata eseguita con riferimento al periodo temporale gennaio 2006 – dicembre 2015.

Come valore medio di riferimento (T_m) per il tasso di incidentalità si è assunto il tasso medio sulla rete di competenza di Autostrade per l'Italia (TIG), pari a 0,312 incidenti/10⁶ veicoli x km.

L'analisi condotta sul tratto autostradale in oggetto ha portato ai risultati sintetizzati in Tabella 7 ed in Tabella 8 dove sono riportati, rispettivamente per la carreggiata sud e per la carreggiata nord:

- l'identificativo della sezioni (col (1))
- le progressive di inizio e fine della sezione (col (2) e col (3))
- il numero totale di incidenti occorsi (col (4))
- La somma del TGM relativo al periodo di analisi (col (5))
- il tasso di incidentalità relativo alla sezione (in numero di incidenti per 10⁶ veicoli x km – col (6));
- i parametri di controllo (col (8) e col (8));
- il livello di incidentalità (A=alto, M=medio, B=basso) dove per comodità sono colorate in rosso le sezioni caratterizzate da livello alto, in giallo quelle con livello medio ed in verde quelle a cui è associato un livello basso (col (9)).

Di seguito sono riepilogati i dati di traffico (TGM veicoli totali) utilizzati per il calcolo del tasso di incidentalità e dei livelli incidentali:

Anno	Nord	Sud
2006	27'236	27'449
2007	27'827	28'019
2008	27'679	27'874
2009	28'086	28'436
2010	28'555	28'626
2011	28'075	28'140
2012	26'020	25'935
2013	25'704	25'606
2014	25'965	25'836
2015	25'982	25'742

Tabella 4 – Dati di traffico utilizzati_Monselice – Terme Euganee

Anno	Nord	Sud
2006	28'749	29'628
2007	29'513	30'373
2008	29'390	30'183
2009	29'675	30'303
2010	30'414	30'963
2011	29'901	30'321
2012	27'667	27'873
2013	27'270	27'373
2014	27'331	27'281
2015	27'237	27'039

Tabella 5 – Dati di traffico utilizzati_Terme Euganee – All. A13-Padova Sud

Per l'individuazione dei punti ad incidentalità superiore alla media (PISM) è stata determinata la frequenza incidentale, per ciascun anno considerato, come numero di incidenti per singola carreggiata per fascia chilometrica e confrontata con le diverse soglie (controllo, attenzione, critica) individuate da Autostrade per l'Italia (vedi Tabella 6).

soglia di controllo	numero incidenti = 8 ÷ 9
soglia tendenziale	numero incidenti = 10 ÷ 16
soglia di attenzione	numero incidenti = 17 ÷ 23
soglia critica	numero incidenti > 24

Tabella 6 – Soglie per l'individuazione dei punti ad incidentalità superiore alla media

L'analisi dei livelli incidentali condotta sul tratto autostradale in oggetto ha portato, per ogni sezione di sviluppo pari a 1000 metri (fascia chilometrica), ai risultati sintetizzati in Tabella 7 ed in Tabella 8 rispettivamente per la carreggiata nord e la carreggiata sud.

Nelle tabelle sono riportati:

- l'identificativo della sezione (col (1))
- le progressive di inizio e fine della sezione (col (2) e col (3))
- il numero totale di incidenti occorsi (col (4))
- il numero totale dei chilometri percorsi nel periodo di analisi (col (5))
- il tasso di incidentalità relativo alla sezione (in numero di incidenti per 10⁶ veicoli x km – col (6));
- i parametri di controllo (col (7) e col (8));
- il livello di incidentalità (A=alto, M=medio, B=basso) dove per comodità sono colorate in rosso le sezioni caratterizzate da livello alto, in giallo quelle con livello medio ed in verde quelle a cui è associato un livello basso (col (9)).

Fascia km	Pr_in	Pr_fin	Incidenti	km percorsi	Ti	Tinf	Tsup	Livello Inc.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
88	88.00	88.99	41	98'961'138	0.414	0.215	0.410	A
89	89.00	89.99	33	98'961'138	0.333	0.215	0.410	M
90	90.00	90.99	28	98'961'138	0.283	0.215	0.410	M
91	91.00	91.99	28	98'961'138	0.283	0.215	0.410	M
92	92.00	92.99	55	98'961'138	0.556	0.215	0.410	A
93	93.00	93.99	29	98'961'138	0.293	0.215	0.410	M
94	94.00	94.99	36	98'961'138	0.364	0.215	0.410	M
95	95.00	95.99	59	104'808'931	0.563	0.218	0.407	A
96	96.00	96.99	29	104'808'931	0.277	0.218	0.407	M
97	97.00	97.99	33	104'808'931	0.315	0.218	0.407	M
98	98.00	98.99	43	104'808'931	0.410	0.218	0.407	A
99	99.00	99.99	33	104'808'931	0.315	0.218	0.407	M
100	100.00	100.99	37	104'808'931	0.353	0.218	0.407	M
TOT	88.00	100.99	484	1'321'581'554	0.366	0.287	0.338	A

Tabella 7 – Risultati analisi incidentale, carreggiata NORD

Fascia km	Pr_in	Pr_fin	Incidenti	km percorsi	Ti	Tinf	Tsup	Livello Inc.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
88	88.00	88.99	19	99'157'208	0.192	0.215	0.410	B
89	89.00	89.99	23	99'157'208	0.232	0.215	0.410	M
90	90.00	90.99	32	99'157'208	0.323	0.215	0.410	M
91	91.00	91.99	19	99'157'208	0.192	0.215	0.410	B
92	92.00	92.99	16	99'157'208	0.161	0.215	0.410	B
93	93.00	93.99	23	99'157'208	0.232	0.215	0.410	M
94	94.00	94.99	29	99'157'208	0.292	0.215	0.410	M
95	95.00	95.99	22	106'338'032	0.207	0.218	0.406	B
96	96.00	96.99	20	106'338'032	0.188	0.218	0.406	B
97	97.00	97.99	30	106'338'032	0.282	0.218	0.406	M
98	98.00	98.99	29	106'338'032	0.273	0.218	0.406	M
99	99.00	99.99	29	106'338'032	0.273	0.218	0.406	M
100	100.00	100.99	28	106'338'032	0.263	0.218	0.406	M

TOT	88.00	100.99	319	1'332'128'647	0.239	0.287	0.338	B
-----	-------	--------	-----	---------------	-------	-------	-------	---

Tabella 8 - Risultati analisi incidentale, carreggiata SUD

Come evidenziato nelle tabelle, nel periodo di osservazione, di durata 10 anni, si sono verificati complessivamente 803 incidenti con una prevalenza per la carreggiata nord (484 incidenti contro 319 in carreggiata sud).

In termini di livelli incidentali la carreggiata nord risulta caratterizzata da un livello medio-alto ed in particolare in corrispondenza delle fasce chilometriche km 88, 92, 95 e 98, ubicate rispettivamente in prossimità dello svincolo di Monselice, di una piazzola di sosta/PMV (nello specifico al km 92+800 circa dove si concentrano la maggior parte degli eventi incidentali), dello svincolo di Terme Euganee e dell'area di servizio Pelagio, caratterizzate da incidentalità alta in quanto il tasso di incidentalità supera il valore di controllo superiore ($T_{sup}=0.410$ nella tratta Monselice-Terme Euganee e 0.407 nella tratta Terme Euganee-Padova sud); in questi ambiti il livello di incidentalità più elevato può essere riconducibile alle manovre di diversione/immissione compiute dagli utenti. Per quanto riguarda la carreggiata sud risulta invece caratterizzata da un livello medio-basso.

Per una migliore comprensione di quanto detto sopra si riporta di seguito l'analisi eseguita in termini di frequenza incidentale. In Tabella 9 ed in Tabella 10 rispettivamente per la carreggiata nord e la carreggiata sud, si riportano i risultati espressi come numero di incidenti annuo per fascia chilometrica; la suddivisione è stata effettuata con riferimento alle soglie di Tabella 6.

L'analisi quantitativa, espressa in termini di livelli incidentali e di frequenza, mostra che il tratto in oggetto risulta caratterizzato da una lieve presenza di punti in cui si verifica il superamento della soglia di controllo con un solo tratto dove, durante il periodo di analisi, si ha il raggiungimento della soglia tendenziale; tale tratto risulta corrispondente al km 92 in carreggiata nord e si manifesta per un anno rispetto al periodo di analisi di dieci. Si evidenzia comunque che nei tratti caratterizzati da alta incidentalità in carreggiata nord si concentrano i casi di superamento della soglia di controllo.

Fascia km	Carreggiata nord									
	anno 2006	anno 2007	anno 2008	anno 2009	anno 2010	anno 2011	anno 2012	anno 2013	anno 2014	anno 2015
88	4	1	6	4	5	7	3	7	2	2
89	5	5	4	1	3	5	6	2	0	2
90	1	2	1	5	0	3	6	3	4	3
91	6	3	5	2	4	4	1	1	0	2
92	7	8	7	5	10	4	8	1	3	2
93	3	4	2	2	3	9	1	2	2	1
94	4	1	4	7	3	4	5	4	1	3
95	6	7	9	8	5	7	2	5	2	8
96	8	3	5	2	2	4	3	2	0	0
97	3	2	5	1	4	3	8	3	2	2
98	2	6	3	6	8	2	4	4	5	3
99	2	9	5	4	0	2	3	2	1	5
100	4	4	3	4	6	5	3	2	2	4

Tabella 9 – Numero di incidenti per fascia chilometrica_Carreggiata nord

Fascia km	Carreggiata sud									
	anno 2006	anno 2007	anno 2008	anno 2009	anno 2010	anno 2011	anno 2012	anno 2013	anno 2014	anno 2015
88	1	3	3	1	3	3	0	0	1	4
89	2	4	2	3	1	1	3	3	1	3
90	7	5	3	3	3	1	2	2	1	5
91	2	4	3	0	2	0	2	2	2	2
92	2	1	2	2	1	1	3	2	1	1
93	3	7	4	2	0	0	0	1	3	3
94	4	7	3	4	2	5	1	1	1	1
95	4	3	4	1	1	4	0	1	0	4
96	4	6	4	0	2	0	3	0	0	1
97	8	1	3	2	4	5	0	1	4	2
98	2	4	1	4	3	4	1	3	4	3
99	2	2	5	3	2	2	1	3	5	4
100	8	3	0	1	7	5	1	2	0	1

Tabella 10 - Numero di incidenti per fascia chilometrica_Carreggiata sud

Per quanto riguarda l'evoluzione temporale dei fenomeni incidentali nel tratto in oggetto, come evidenziato in Figura 9, si riscontra un andamento lievemente decrescente in linea con i valori medi della rete gestita da Autostrade per l'Italia per tutto il periodo di analisi.

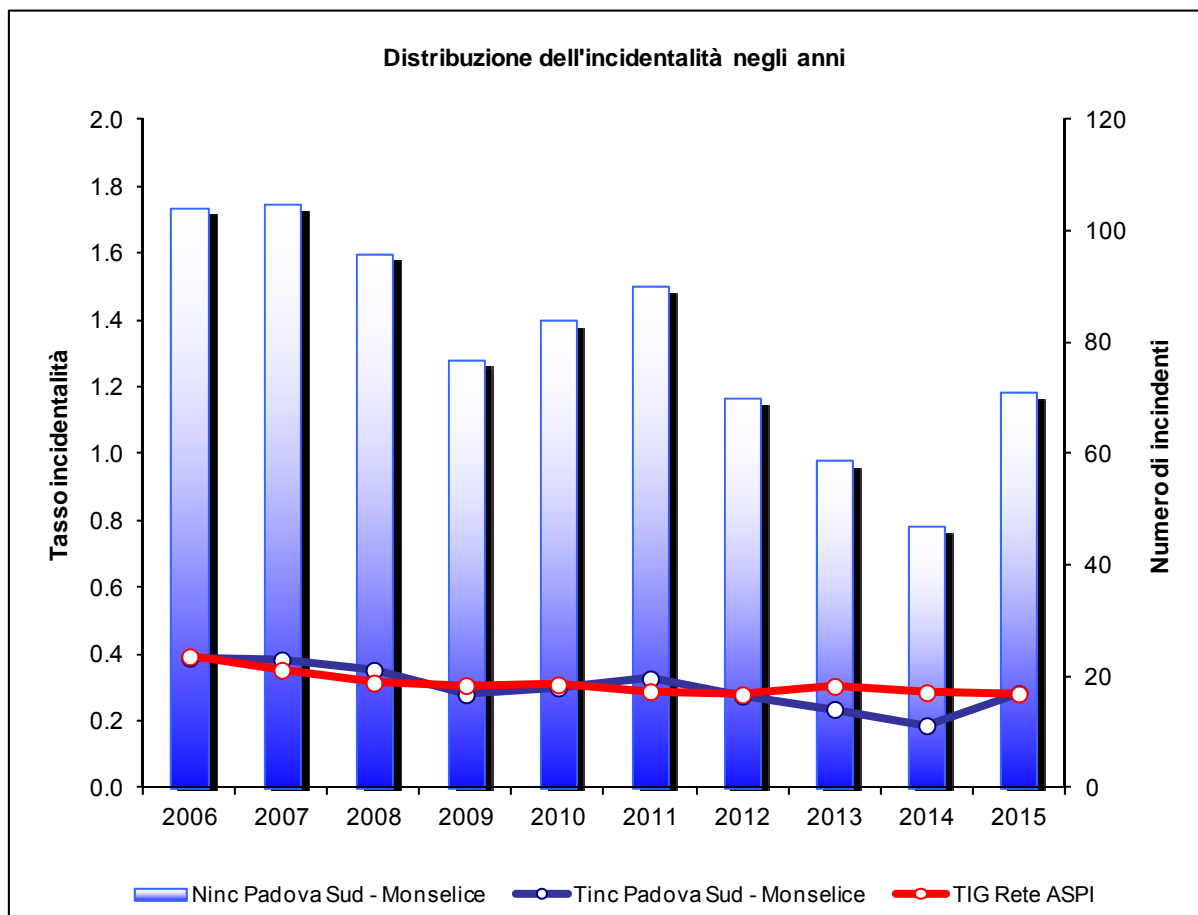


Figura 9 – Evoluzione dell'incidentalità

Un ulteriore spunto di riflessione proviene dall'analisi qualitativa degli incidenti che interessano il tratto in questione. Come si può notare in Figura 10 le principali cause di incidentalità sono

rappresentate dall'urto per sbandamento, dal tamponamento e dallo scontro laterale; in particolare è possibile ipotizzare che le tre tipologie si verifichino con diversa frequenza in funzione del livello di traffico ovvero mentre il tamponamento e lo scontro laterale è probabile che si verifichino in condizioni di traffico veicolare intenso, l'urto per sbandamento (in cui sono raccolte le seguenti voci tra quelle contenute nel database degli incidenti: fuoriuscita per sbandamento, urto con sicurvìa, urto con ostacolo accidentale) è invece caratteristico di condizioni di traffico ridotto in cui gli utenti possono essere indotti a percorrere il tratto a velocità più elevate rispetto a quelle permesse dal tracciato o di traffico notturno in cui la presenza di lunghi tratti in rettilineo può produrre fenomeni di scarsa attenzione o colpi di sonno.

E' però opportuno precisare che la voce "Urto per sbandamento", in quanto raggruppa più tipologie di incidenti, rappresenta una categoria molto generica e non sempre riconducibile ad un corretto rapporto di causa-effetto con l'infrastruttura stradale.

In generale per il tratto autostradale in oggetto si riscontra quindi un comportamento tipico dei tratti a bassa incidentalità, in cui questa è difficilmente riconducibile a cause evidenti e conseguentemente per tali tratte l'accadimento di un incidente è da ricondurre a fenomeni casuali. Unica eccezione può essere rappresentata dai tratti in prossimità di svincoli, aree di servizio o parcheggio, dove si verifica un innalzamento dell'incidentalità, rispetto alle condizioni medie di tratta, che come già detto può essere imputato alle frequenti manovre di diversione/immissione compiute dall'utente che possono favorire l'insorgenza di fenomeni incidentali.

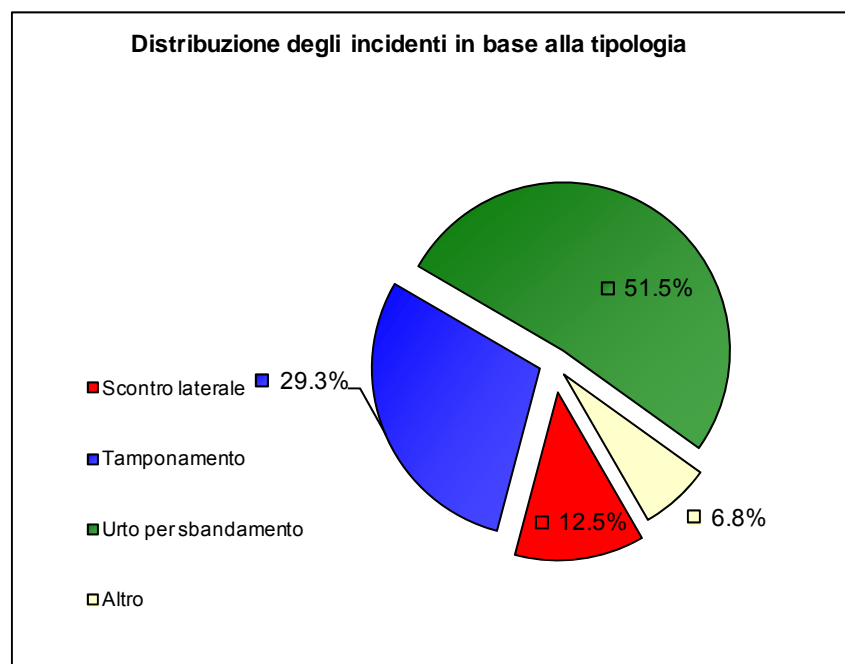


Figura 10 – Incidenti per tipologia d'urto

5.2.2 Descrizione degli miglioramenti introdotti in progetto

Come già descritto nei precedenti paragrafi, il progetto per l'ampliamento alla terza corsia prevede una serie di provvedimenti aventi tra gli obiettivi l'incremento del livello di sicurezza offerto a seguito dell'intervento:

- miglioramento delle condizioni di deflusso offerte dall'infrastruttura;
- inserimento di curve a raggio variabile (racordi clotoidici) e adeguamento del parametro A;
- adeguamento delle corsie specializzate di immissione e diversione;
- incremento della distanza di visuale libera per l'arresto;
- innalzamento delle pendenze trasversali in curva e maggiore congruenza delle velocità di progetto tra elementi consecutivi di tracciato;
- rinnovo della pavimentazione drenante;
- rinnovo della segnaletica orizzontale e verticale;
- sostituzione delle barriere di sicurezza.

6 CONCLUSIONI

In sintesi, si riassumono gli aspetti di carattere generale in grado di elevare il livello di sicurezza offerto all'utenza dall'arteria potenziata e riqualificata:

- Miglioramento delle condizioni di deflusso offerte dall'infrastruttura;
- Adeguamento delle corsie specializzate di immissione e diversione;
- Interposizione tra due elementi a raggio costante (curve circolari, ovvero rettilo e curva circolare) di curve a raggio variabile (racordi clotoidici);
- Miglioramento delle performance in termini di visibilità per l'arresto;
- Pendenze trasversali più elevate, a parità di raggio, rispetto a quelle esistenti, con conseguente incremento dei valori della velocità limite allo sbandamento e conseguente riduzione di variazioni di velocità tra elementi consecutivi del tracciato con elevata congruenza delle velocità di progetto (completa rispondenza ai criteri di natura cinematica e/o dinamica contenuti nelle "Norme geometriche e funzionali per la costruzione delle strade");
- Dimensionamento degli spazi di funzionamento e messa in opera dispositivi di contenimento rispondenti alle prescrizioni contenute nelle "Istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza e prescrizioni tecniche per le prove ai fini dell'omologazione";
- Rinnovo della pavimentazione drenante e della segnaletica orizzontale e verticale.

La valenza degli elementi positivi di cui sopra e la loro lettura combinata concorrono a concludere che, nello spirito di quanto richiesto dal DM n. 67/S del 22.04.2004, l'intervento configurato in progetto contiene elementi volti a un complessivo miglioramento della sicurezza del sistema rispetto all'infrastruttura attuale, che comunque alla luce delle risultanze emerse dall'analisi di incidentalità svolta per la tratta in oggetto, grazie anche al fatto che la Concessionaria Autostrade per l'Italia è già intervenuta in modo importante a mettere in opera interventi volti alla riduzione

 gruppo Atlantia	<p>AUTOSTRADA "A13": BOLOGNA – PADOVA Ampliamento alla 3ª corsia Tratto: Monselice – Padova sud</p> <p>Progetto definitivo</p>
--	--

dell'incidentalità, è da considerarsi già oggi debolmente critica da un punto della sicurezza stradale.

APPENDICE A – CRITERI PER L'ANALISI DI VISIBILITA'

Calcolo delle distanze di visuale libera

Le distanze di visuale libera per l'arresto sono state calcolate secondo i criteri previsti dalle "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" (DM 05/11/2001, prot. N° 6792), adottando un'altezza dell'occhio del guidatore (PdV) a 1.10 m. dal piano viabile ed un'altezza dell'ostacolo (PdM) dal piano viabile di 0.10 m.

L'analisi è stata condotta utilizzando un apposito programma di calcolo automatico basato su una metodologia numerica operante simultaneamente nelle tre dimensioni e che tiene conto di tutti gli aspetti della geometria della piattaforma (tracciamento, profilo, pendenze di falda, sezioni trasversali).

La singola verifica di visibilità tra un Punto di Vista (PdV) ed un Punto di Mira (PdM), ubicati in posizione arbitraria quanto a progressive e posizione trasversale, avviene ricostruendo la traiettoria spaziale del raggio ottico e confrontandola con il profilo derivante dall'insieme degli elementi costitutivi della sezioni attraversate (pavimentazione, muri, scarpate, barriere, ecc.), opportunamente discretizzate attraverso un campionamento con passo arbitrario. Naturalmente, si ha ostacolo alla visuale allorché il raggio ottico viene intercettato da un elemento di sezione, cioè quando si verifica il passaggio del punto-traccia del raggio ottico (cioè il punto di intersezione del raggio con il piano della sezione) dalla zona "vuota" della sezione precedente alla zona "piena" della sezione successiva.

Il risultato viene reso facilmente leggibile attraverso una particolare proiezione che consiste nel riportare ciascuna sezione, con il suo profilo trasversale ed il suo punto-traccia del raggio ottico, su un unico piano facendo scorrere ciascun punto della sezione lungo la sua equicentrica rispetto all'asse di tracciamento. L'operazione può pensarsi anche come una sovrapposizione di fogli lucidi, ciascuno relativo ad una sezione, portando in coincidenza tutti i punti-traccia dell'asse di tracciamento in ciascuna sezione.

Si ottiene un diagramma del tipo di quello riportato in Figura 11, relativo ad un tratto con curva a sinistra, con PdV a m 1.10 sulla pavimentazione e PdM a m. 0.10. Il raggio ottico, di per sé rettilineo, vi appare come una curva, costituita dall'insieme dei punti-traccia su ciascuna sezione attraversata riferiti all'asse di tracciamento, che, per tutte le sezioni, corrisponde ad uno stesso punto fisso.

Nello stesso diagramma appare anche la sezione trasversale relativa alla progressiva del punto iniziale del raggio ottico. Avanzando lungo il raggio ottico questa, a seconda dei casi, potrà rimanere costante o mutare. In sede di analisi di dettaglio, un apposito software si incarica di mostrare la sezione corrispondente a ciascun punto del raggio ottico.

Le operazioni di verifica descritte per un singolo PdM, vengono ripetute iterando per distanze via via crescenti dal PdM all'interno di un intervallo di valori arbitrario: il valore minimo corrisponde di regola ad una visuale libera sempre assicurata mentre quello massimo, di solito, è la soglia oltre la quale non si ha interesse ad indagare. Se il raggio ottico viene intercettato, viene assunta come Distanza di Visuale Libera (DVL) la media tra l'ultima distanza visibile e la prima oscurata; il passo dell'iterazione delle distanze quindi determina la precisione del calcolo per un dato PdV. (in questo caso si è considerato un passo di 2 metri e di conseguenza una precisione ± 1 metro)

Una iterazione più esterna, con passo arbitrario viene automaticamente compiuta anche sulla progressiva del PdV (in questo caso 20 metri) in modo da ottenere una descrizione discreta delle condizioni di visuale libera sul tratto in esame.

Il confronto tra la DVL e la distanza di visibilità richiesta consente di identificare i punti del tracciato dove la configurazione piano – altimetrica e l'organizzazione della sezione non consentono di garantire la visibilità richiesta dalla norma.

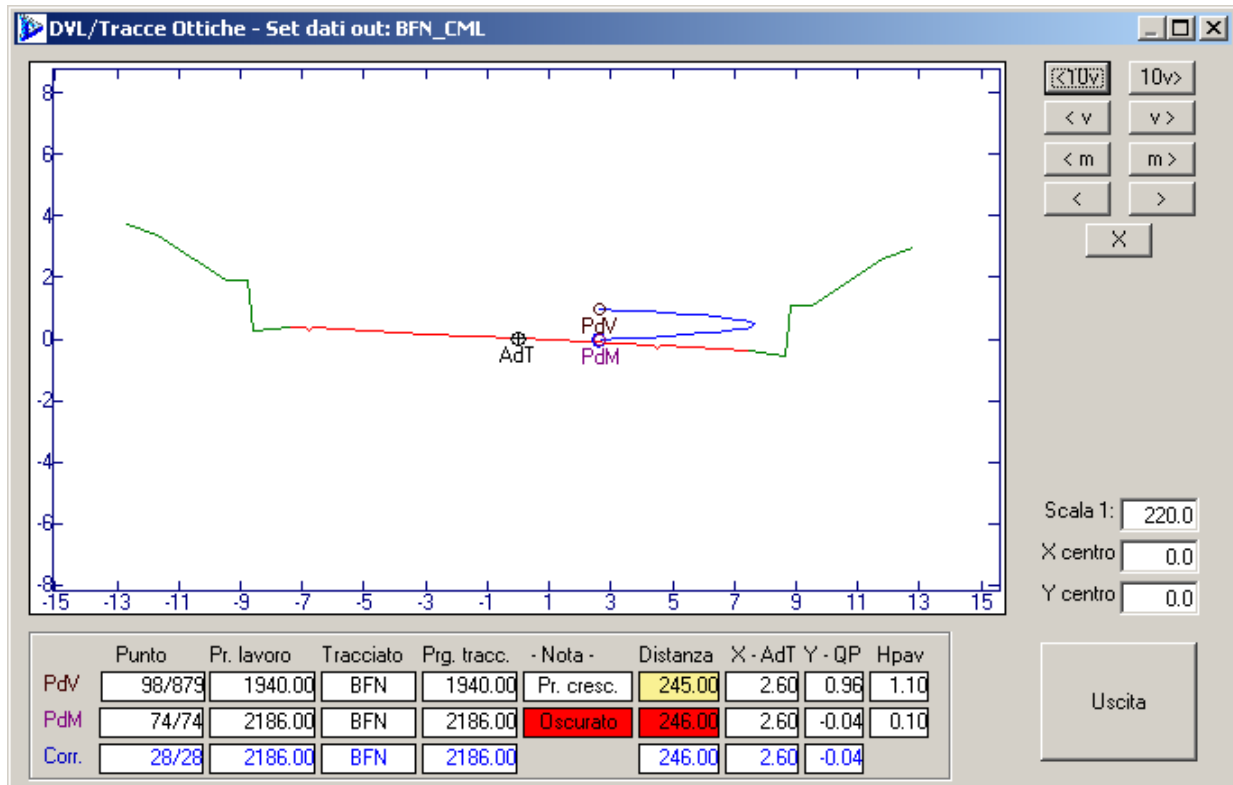


Figura 11 - Esempio di diagramma per il calcolo della distanza di visuale libera

Calcolo della distanza di visibilità per l'arresto

La distanza di visibilità per l'arresto è stata calcolata in base a quanto riportato al paragrafo 5.1.2. delle "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" (DM 05/11/2001, prot. N° 6792).

Si è valutata la distanza di arresto punto per punto (passo 20 metri) in funzione della velocità di progetto e della pendenza longitudinale con la seguente espressione:

$$D_A = D_1 + D_2 = \frac{V_0}{3,6} \times \tau - \frac{1}{3,6^2} \int_{v_0}^{v_1} \frac{V}{g \times \left[f_l(V) \pm \frac{i}{100} \right] + \frac{Ra(V)}{m} + r_0(V)} dV \quad [m]$$

dove:

D_1 =	spazio percorso nel tempo τ	
D_2 =	spazio di frenatura	
V_0 =	velocità del veicolo all'inizio della frenatura	[km/h]
V_1 =	velocità finale del veicolo, in cui $V_1 = 0$ in caso di arresto	[km/h]
i =	pendenza longitudinale del tracciato	[%]
τ =	tempo complessivo di reazione (percezione, riflessione, reazione e attuazione)	[s]
g =	accelerazione di gravità	[m/s ²]
R_a =	resistenza aerodinamica	[N]
m =	massa del veicolo	[kg]
f_l =	quota limite del coefficiente di aderenza impegnabile longitudinalmente per la frenatura	
r_0 =	resistenza unitaria al rotolamento, trascurabile	[N/kg]

Per f_l si sono adottati i valori riportati in Tabella 11. Tali valori sono compatibili anche con superficie stradale leggermente bagnata (spessore del velo idrico di 0,5 mm)

VELOCITA' km/h	25	40	60	80	100	120	140
f_l Autostrade	-	-	-	0.44	0.40	0.36	0.34

Tabella 11 - coefficienti di aderenza impegnabile longitudinalmente

Per il tempo complessivo di reazione si sono assunti valori linearmente decrescenti con la velocità da 2,6 s per 20 km/h, a 1,4 s per 140 km/h., in considerazione della attenzione più concentrata alle alte velocità.

$$\tau = (2,8 - 0,01V) \quad [s] \quad \text{con } V \text{ in km/h}$$

APPENDICE B – CRITERI PER L'ANALISI DI INCIDENTALITÀ

Secondo la procedura contenuta nell'Allegato 2 della bozza delle "Norme per la classificazione funzionale delle strade esistenti" (già D.P.CNR N. 13465 del 11/09/1995 - Criteri per la classificazione della rete delle strade esistenti ai sensi dell'Art.13, comma 4 e 5 del Nuovo Codice della Strada), il tasso di incidentalità (espresso in numero di incidenti per 10⁶ veicoli x km) per la sezione omogenea i-esima si calcola mediante l'espressione:

$$T_i = \frac{10^6 \cdot N_i}{365 \cdot L_i \cdot \sum_t TGM_{i,t}}$$

dove:

- N_i è il numero di incidenti occorsi nella sezione i-esima nell'arco temporale di riferimento;
- L_i è la lunghezza (in km) della sezione omogenea i-esima
- $TGM_{i,t}$ è il TGM osservato nella sezione i-esima nell'anno "t".

Per la definizione dei livelli incidentali (alto/medio/basso) la procedura proposta prevede la definizione di due valori di controllo ovvero:

$$T_{inf}^* = T_m - K \cdot \sqrt{\frac{T_m}{M_i}} - \frac{1}{2M_i}$$

$$T_{sup}^* = T_m + K \cdot \sqrt{\frac{T_m}{M_i}} + \frac{1}{2M_i}$$

dove:

- T_m = valore medio di riferimento del tasso di incidentalità
- $M_i = 365 \cdot 10^{-6} \cdot L_i \cdot \sum_t TGM_{i,t}$
- K = costante di probabilità della distribuzione di Poisson (per $K=1.645$ la probabilità di errore è pari al 10%)

Il livello di incidentalità viene definito basso/medio/alto in base al confronto tra il tasso caratteristico di una data sezione (T_i) ed i valori di controllo (T_{inf}^* e T_{sup}^*) secondo lo schema riportato in Tabella 12.

LIVELLO DI INCIDENTALITÀ	VALORE DI T_i
Basso	$T_i < T_{inf}^*$
Medio	$T_{inf}^* < T_i < T_{sup}^*$
Alto	$T_i > T_{sup}^*$

Tabella 12: schema per la definizione del livello di incidentalità