SPEA Engineering

AUTOSTRADA “A13”: BOLOGNA – PADOVA

AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA

TRATTO BOLOGNA ARCOVEGGIO – FERRARA SUD

PROGETTO DEFINITIVO

ANALISI DEGLI ASPETTI CONNESSI CON LE ESIGENZE DI SICUREZZA STRADALE
(EX DM N. 67/S DEL 22.04.2004)

autostrade per l'italia

AUTOSTRADA (A13) : BOLOGNA–PADOVA

TRATTO: BOLOGNA – FERRARA

AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA
TRATTO: BOLOGNA ARCOVEGGIO – FERRARA SUD

PROGETTO DEFINITIVO

AU – CORPO AUTOSTRADALE

PARTE STRADALE

ELABORATI GENERALI

Analisi degli aspetti connessi con le esigenze di sicurezza stradale (EX DM n.67/S del 22.04.2004)

IL PROGETTISTA SPECIALISTICO	IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE	IL DIRETTORE TECNICO
Ing. Gianluca Salvatore Spinazzola Ord. Ingg. Milano N. 26796 RESPONSABILE STRADE E ARREDI STRADALI	Ing. Federica Ferrari Ord. Ingg. Milano N. 21082	Ing. Orlando Mazza Ord. Ingg. Pavia N. 1496 PROGETTAZIONE NUOVE OPERE AUTOSTRADALI

CODICE IDENTIFICATIVO

RIFERIMENTO PROGETTO			RIFERIMENTO DIRETTORIO					RIFERIMENTO ELABORATO				Ordinatore:
Codice Commessa	Lotto, Sub-Prog, Cod. Appalto	Fase	Capitolo	Paragrafo	WBS tipologia	WBS progressivo	PARTE D'OPERA	Tip.	Disciplina	Progressivo	Rev.	— —
111306	0001	PD	00	000	000	000	00000	0	STD	0051	–1	SCALA: –

SPEA ENGINEERING gruppo Atlantia

PROJECT MANAGER:	SUPPORTO SPECIALISTICO:
Ing. Federica Ferrari Ord. Ingg. Milano N. 21082	
REDATTO: –	VERIFICATO: –

REVISIONE	
n.	data
0	APRILE 2016
1	NOVEMBRE 2016
2	–
3	–
4	–

	VISTO DEL COMMITTENTE	VISTO DEL CONCEDENTE
	autostrade per l'italia IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. Antonio Tosi	Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI

IL PRESENTE DOCUMENTO NON POTRA' ESSERE COPIATO, RIPRODOTTO O ALTRIMENTI PUBBLICATO, IN TUTTO O IN PARTE, SENZA IL CONSENSO SCRITTO DELLA SOC. AUTOSTRADE PER L'ITALIA S.P.A.. OGNI UTILIZZO NON AUTORIZZATO SARA' PERSEGUITO A NORMA DI LEGGE.
THIS DOCUMENT MAY NOT BE COPIED, REPRODUCED OR PUBLISHED, EITHER IN PART OR IN ITS ENTIRETY, WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF SOC. AUTOSTRADE PER L'ITALIA S.P.A.. UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED BY LAW.

INDICE

1 OGGETTO 3
2 PREMESSA 3
3 DESCRIZIONE DELL'INFRASTRUTTURA ESISTENTE 4
3.1 Caratteristiche plano-altimetriche 4
3.2 Organizzazione della sezione trasversale 5
4 INTERVENTO DI AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA (IL PROGETTO) 6
4.1 Caratteristiche plano-altimetriche 6
4.2 Organizzazione della sezione trasversale 8
5 ANALISI DEGLI ASPETTI CONNESSI CON LE ESIGENZE DI SICUREZZA 10
5.1 Indicatori globali di sicurezza 10
5.1.1 Condizioni di deflusso e livelli di servizio 10
5.1.2 Caratteristiche geometriche 11
5.1.2.1 Curve a raggio variabile (raccordi clotoidici) 11
5.1.2.2 Curvatura degli elementi planimetrici 11
5.1.2.3 Congruenza delle velocità di progetto 11
5.1.2.4 Innalzamento pendenze trasversali 14
5.1.2.5 Adeguamento delle corsie specializzate di immissione e diversione 16
5.1.3 Analisi di visibilità per l'arresto 16
5.1.4 Barriere di sicurezza 17
5.1.5 Pavimentazioni 17
5.1.6 Segnaletica stradale 17
5.2 Individuazione dei livelli di incidentalità e descrizione dei miglioramenti introdotti in progetto 18
5.2.1 Analisi di incidentalità 18
5.2.2 Descrizione degli miglioramenti introdotti in progetto 26
6 CONCLUSIONI 26
APPENDICE A – CRITERI PER L'ANALISI DI VISIBILITA' 28
Calcolo delle distanze di visuale libera 28
Calcolo della distanza di visibilità per l'arresto 29
APPENDICE B – CRITERI PER L'ANALISI DI INCIDENTALITÀ 31

1 OGGETTO

Il presente documento ha come oggetto l'analisi degli aspetti connessi con le esigenze di sicurezza secondo quanto previsto dal DM del 22.04.2004[1] 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 Bologna Arcoveggio – Ferrara 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 mantiene la connessione con il territorio attraverso gli svincoli autostradali di Bologna Interporto (km 7+950) e Altedo (km 20+450). E' prevista inoltre un'area di servizio intermedia al km 11+700 (Castel Bentivoglio).

3.1 Caratteristiche plano-altimetriche

L'intervento si sviluppa dalla progressiva 1+070.00 (in corrispondenza della fine delle corsie specializzate dello svincolo di Bologna Arcoveggio) fino alla progressiva 33+547.00 (in corrispondenza dell'inizio delle corsie specializzate dello svincolo di Ferrara Sud) per una lunghezza complessiva pari a 32.477km.

L'andamento planimetrico si presenta piuttosto lineare, con curve generalmente sprovviste di raccordi clotoidici e valori del raggio piuttosto elevati. Nel tratto terminale troviamo la curva di raggio più piccolo, pari a 1080m, mentre nel resto del tacciato troviamo due curve di raggio 2100m e 5000m, più altre curve di raggio molto ampio (oltre i 10250m).

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	0.000	2'573.807	2573.807	R		
2	2'573.807	2'844.589	270.782	C	100000.00	DX
3	2'844.589	9'138.978	6294.389	R		
4	9'138.978	9'517.246	378.268	C	10250.00	SX
5	9'517.246	10'859.942	1342.696	R		
6	10'859.942	11'194.413	334.471	C	2100.00	DX
7	11'194.413	13'792.021	2597.608	R		
8	13'792.021	14'062.777	270.756	C	6000.00	DX
9	14'062.777	17'997.148	3934.371	R		
10	17'997.148	18'432.035	434.887	C	5000.00	SX
11	18'432.035	27'094.868	8662.833	R		
12	27'094.868	27'528.960	434.092	C	5000.00	SX
13	27'528.960	29'048.780	1519.820	R		
14	29'048.780	29'154.432	105.652	C	350000.00	DX
15	29'154.432	31'994.487	2840.055	R		
16	31'994.487	32'389.819	395.332	C	1080.00	SX
17	32'389.819	34'163.058	1773.239	R		

Tabella 1 - Riepilogo caratteristiche planimetriche

Con riferimento all'andamento altimetrico il tracciato è caratterizzato da livellette con pendenza molto modesta e raccordi altimetrici ad ampio raggio.

3.2 Organizzazione della sezione trasversale

L'autostrada nel tratto in questione, si presenta attualmente come un tratto autostradale a due carreggiate, ciascuna da due corsie di larghezza pari a 3.75m ciascuna con corsia d'emergenza di larghezza pari a 3.00m.
Lo spartitraffico centrale ha larghezza pari 1.65m, con banchine centrali da circa 28cm, per una larghezza complessiva del margine interno pari a 2.20m.
Il totale pavimentato è di circa 10.53m per carreggiata, per una larghezza complessiva della piattaforma stradale pari a 22.70m (vedi Figura 1 – Sezione tipo esistente). I tratti in viadotto mantengono la sezione tipo del pavimentato corrente.

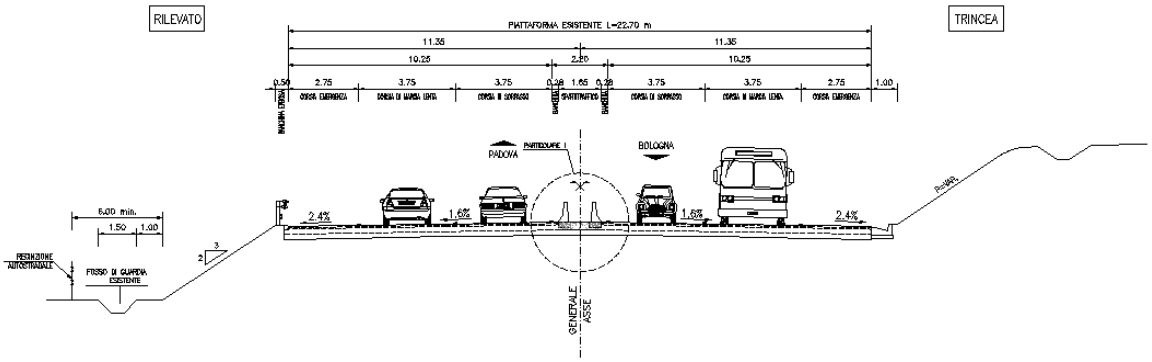

Figura 1 – Sezione tipo esistente

4 INTERVENTO DI AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA (IL PROGETTO)

La tratta di circa 32.5km di sviluppo, fa parte del progetto Progetto Definitivo per l'ampliamento alla 3ª corsia dell'Autostrada A13 Bologna-Padova, nel tratto Bologna Arcoveggio – Ferrara Sud.
L'intervento si sviluppa dalla progressiva 1+070.00 (in corrispondenza della fine delle corsie specializzate dello svincolo di Bologna Arcoveggio) fino alla progressiva 33+547.00 (in corrispondenza dell'inizio delle corsie specializzate dello svincolo di Ferrara Sud) per una lunghezza complessiva pari a 32.477km

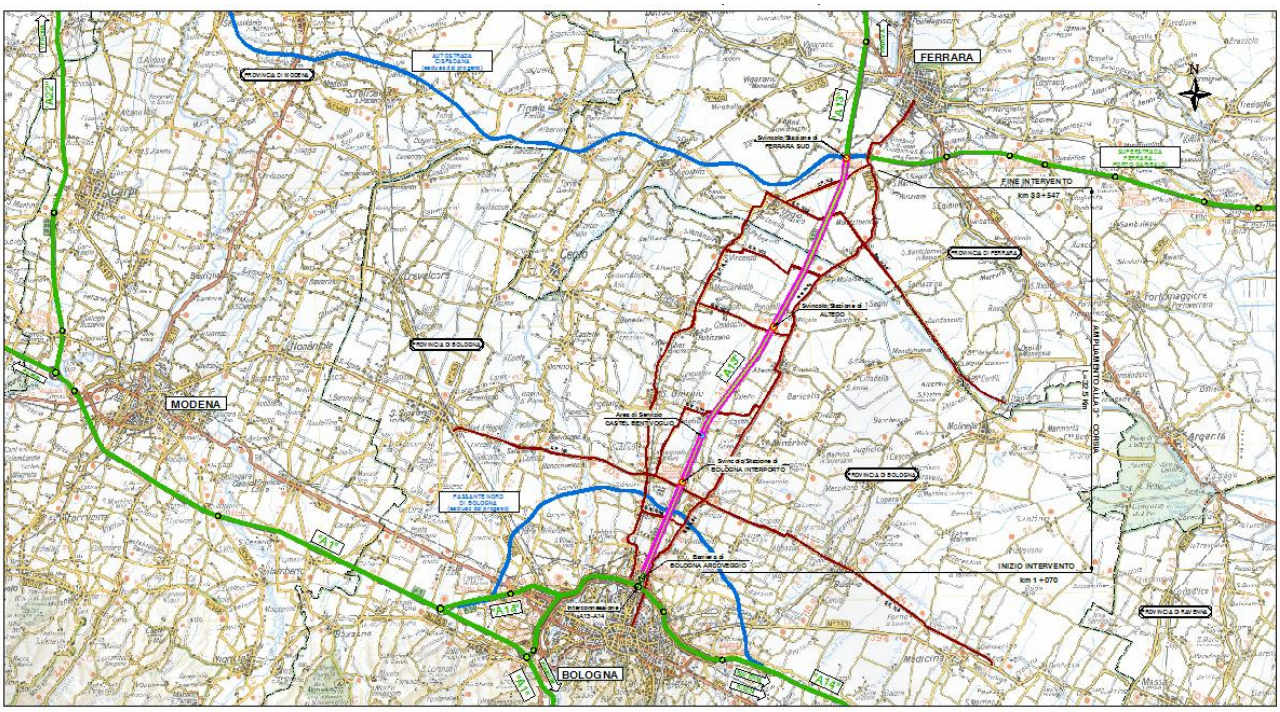

Figura 2 – Inquadramento territoriale

Oltre agli interventi descritti il progetto prevede l'adeguamento delle rampe, per lo Svincolo di Bologna Interporto, per l'Area di Servizio Castel Bentivoglio, per lo Svincolo di Altedo, in modo da rendere compatibile la geometria delle rampe con le dimensioni della piattaforma autostradale di progetto.
Lo Svincolo di Bologna Arcoveggio, all'inizio del tratto in oggetto, e lo Svincolo di Ferrara Sud, al termine del tratto in oggetto, mantengono inalterata la configurazione delle rampe esistenti.

4.1 Caratteristiche plano-altimetriche

L'andamento planimetrico ricalca sostanzialmente l'esistente; l'asse stradale se ne discosta solo nei tratti in cui l'allargamento è asimmetrico, rimanendo però parallelo al tracciato originario.

La piattaforma di progetto viene modellata con due assi di tracciamento sub-paralleli, il primo (denominato "ASSE NORD" riferito alla carreggiata in direzione Bologna-Paadova, il secondo, denominato "ASSE SUD" riferito alla carreggiata in direzione Padova-Bologna.

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	0.000	1'249.839	1249.839	R				140.0
2	1'249.839	1'485.087	235.248	C	10250.00	DX	2.50	140.0
3	1'485.087	1'720.427	235.340	C	10254.00	SX	2.50	140.0
4	1'720.427	3'094.000	1373.574	R				140.0
5	3'094.000	3'363.563	269.563	C	99992.60	DX	2.50	140.0
6	3'363.563	6'829.475	3465.912	R				140.0
7	6'829.475	7'064.815	235.340	C	10254.00	SX	2.50	140.0
8	7'064.815	7'300.063	235.248	C	10250.00	DX	2.50	140.0
9	7'300.063	9'576.124	2276.061	R				140.0
10	9'576.124	9'740.985	164.862	AT	1300.19			140.0
11	9'740.985	9'954.539	213.554	C	10254.00	SX	2.50	140.0
12	9'954.539	10'119.401	164.862	AT	1300.19			140.0
13	10'119.401	11'261.437	1142.037	R				140.0
14	11'261.437	11'497.665	236.228	AT	703.99			140.0
15	11'497.665	11'595.590	97.924	C	2098.00	DX	4.26	140.0
16	11'595.590	11'831.818	236.228	AT	703.99			140.0
17	11'831.818	14'347.618	2515.799	R				140.0
18	14'347.618	14'514.257	166.639	AT	999.75			140.0
19	14'514.257	14'618.284	104.027	C	5998.00	DX	2.50	140.0
20	14'618.284	14'784.923	166.639	AT	999.75			140.0
21	14'784.923	18'478.282	3693.359	R				140.0
22	18'478.282	18'678.322	200.040	AT	1000.30			140.0
23	18'678.322	18'913.343	235.021	C	5002.00	SX	2.50	140.0
24	18'913.343	19'113.383	200.040	AT	1000.30			140.0
25	19'113.383	27'513.986	8400.603	R				140.0
26	27'513.986	27'714.026	200.040	AT	1000.30			140.0
27	27'714.026	27'948.251	234.225	C	5002.00	SX	2.50	140.0
28	27'948.251	28'148.291	200.040	AT	1000.30			140.0
29	28'148.291	29'568.079	1419.787	R				140.0
30	29'568.079	29'673.730	105.651	C	349998.00	DX	2.50	140.0
31	29'673.730	32'397.599	2723.869	R				140.0
32	32'397.599	32'629.295	231.696	AT	500.69			140.0
33	32'629.295	32'793.663	164.368	C	1082.00	SX	6.50	140.0
34	32'793.663	33'025.359	231.696	AT	500.69			140.0
35	33'025.359	34'682.412	1657.053	R				140.0

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	0.000	1'249.839	1249.839	R				140.0
2	1'249.839	1'485.179	235.340	C	10254.00	DX	2.50	140.0
3	1'485.179	1'720.427	235.248	C	10250.00	SX	2.50	140.0
4	1'720.427	3'094.000	1373.574	R				140.0
5	3'094.000	3'363.574	269.574	C	99996.60	DX	2.50	140.0
6	3'363.574	6'829.486	3465.912	R				140.0
7	6'829.486	7'064.734	235.248	C	10250.00	SX	2.50	140.0
8	7'064.734	7'300.074	235.340	C	10254.00	DX	2.50	140.0
9	7'300.074	9'576.150	2276.077	R				140.0
10	9'576.150	9'740.980	164.830	AT	1299.81			140.0
11	9'740.980	9'954.418	213.438	C	10250.00	SX	2.50	140.0
12	9'954.418	10'119.248	164.830	AT	1299.81			140.0
13	10'119.248	11'261.188	1141.940	R				140.0
14	11'261.188	11'497.641	236.453	AT	705.00			140.0
15	11'497.641	11'595.978	98.336	C	2102.00	DX	4.25	140.0
16	11'595.978	11'832.431	236.453	AT	705.00			140.0
17	11'832.431	14'348.090	2515.659	R				140.0
18	14'348.090	14'514.785	166.695	AT	1000.25			140.0
19	14'514.785	14'618.937	104.152	C	6002.00	DX	2.50	140.0
20	14'618.937	14'785.631	166.695	AT	1000.25			140.0
21	14'785.631	18'479.002	3693.371	R				140.0
22	18'479.002	18'678.963	199.960	AT	999.70			140.0
23	18'678.963	18'913.715	234.753	C	4998.00	SX	2.50	140.0
24	18'913.715	19'113.676	199.960	AT	999.70			140.0
25	19'113.676	27'514.359	8400.683	R				140.0
26	27'514.359	27'714.319	199.960	AT	999.70			140.0
27	27'714.319	27'948.277	233.958	C	4998.00	SX	2.50	140.0
28	27'948.277	28'148.237	199.960	AT	999.70			140.0
29	28'148.237	29'568.064	1419.827	R				140.0
30	29'568.064	29'673.717	105.653	C	350002.00	DX	2.50	140.0
31	29'673.717	32'397.800	2724.083	R				140.0
32	32'397.800	32'629.067	231.267	AT	499.31			140.0
33	32'629.067	32'792.400	163.333	C	1078.00	SX	6.52	140.0
34	32'792.400	33'023.667	231.267	AT	499.31			140.0
35	33'023.667	34'680.935	1657.268	R				140.0

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

Il progetto prevede un ampliamento generalmente simmetrico della sede stradale, e la sostituzione dello spartitraffico esistente. L'ampliamento prevede di introdurre, su entrambi i lati, una corsia aggiuntiva da 3.75m, e di ampliare il margine interno e la corsia d'emergenza fino agli standard previsti dalla normativa di riferimento
L'allargamento netto della sede stradale è pari, quindi, a 4.90m.

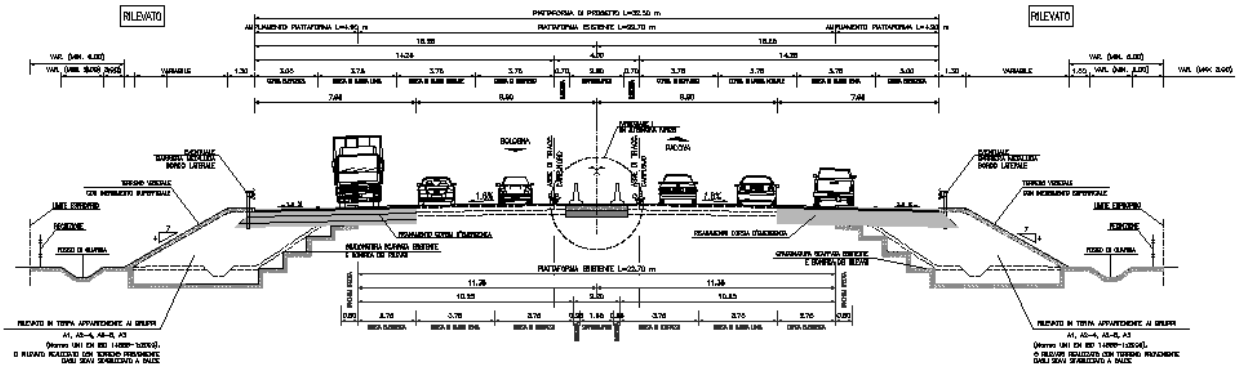

Figura 3 - Sezione tipo ampliamento simmetrico

I tratti di ampliamento asimmetrico hanno una lunghezza complessiva di circa 8.9km: un primo tratto di circa 5.1km tra le progressive 1+720.43 e 6+829.48, ed un secondo di circa 3.8km tra le progressive 14+545.51 e 18+354.18.
In questi tratti la sezione trasversale è così configurata:

Figura 4 - Sezione tipo ampliamento asimmetrico

Si mantiene inalterato uno dei due cigli (salvo la ridefinizione dell'arginello e della barriera di sicurezza), mentre l'allargamento della piattaforma (10.32m) si sviluppa solo su un lato.

L'intervento in progetto prevede il rifacimento della pavimentazione sulla attuale corsia d'emergenza.
Nei tratti in rettifilo si mantiene la pendenza trasversale esistente, adeguando alla pendenza del 2.50% (prevista dalla normativa di riferimento) solo le due fasce laterali di nuova pavimentazione.
Nei tratti in curva la pendenza trasversale esistente viene adeguata a quanto prescritto dalla normativa di riferimento, su tutta la larghezza della piattaforma stradale. Nelle fasce centrali la nuova pendenza trasversale viene ottenuta tramite ricarica della pavimentazione esistente, nelle fasce laterali viene realizzata la nuova pavimentazione, con pendenza corretta. L'adeguamento delle pendenze trasversali della pavimentazione esistente viene realizzato sempre mediante ricariche in modo da non ridurre mai lo spessore della pavimentazione esistente.
Su questo tratto si considera un intervallo di velocità di progetto 90-140km/h, conforme a quanto previsto dalla normativa di riferimento.

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 3ª 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 veicolare[2] e conseguentemente livelli di servizio più elevati corrispondono a basse densità veicolari e distanziamenti elevati. In tali condizioni di deflusso si riducono le interazione 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 2025-2035, le condizioni di deflusso sono caratterizzate, nella fasce orarie diurne del giorno feriale invernale medio, da un livello di servizio medio pari a LOS B in carreggiata nord e LOS C/D in carreggiata sud.

Nello scenario progettuale di medio-lungo termine 2025-2035, le condizioni di deflusso sono scorrevoli caratterizzate, nella fasce orarie diurne del giorno feriale invernale medio, da un livello di servizio medio pari a LOS A in carreggiata nord e LOS B/C in carreggiata sud.

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.

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

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 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.

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 rettifilo 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 sovrapendenza) 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 1080m.

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 rettifilo 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).

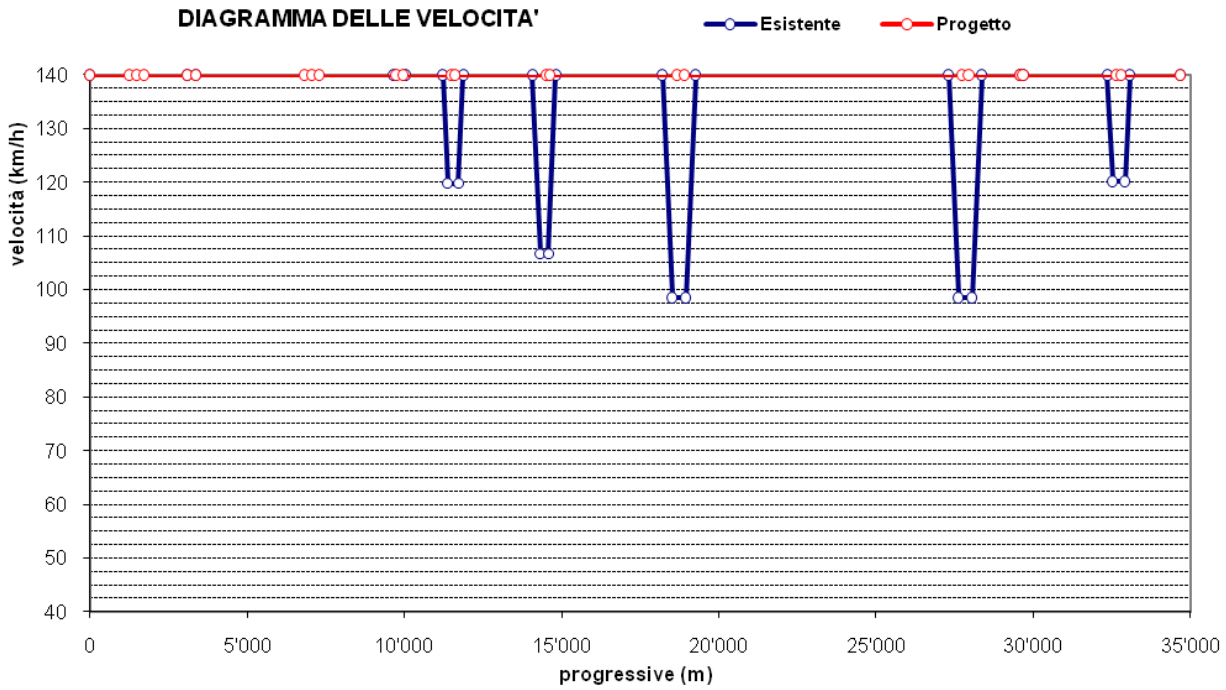

Figura 5 – Diagramma velocità, confronto tra esistente e progetto carreggiata nord.

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 6 vengono sintetizzati i risultati ottenuti.

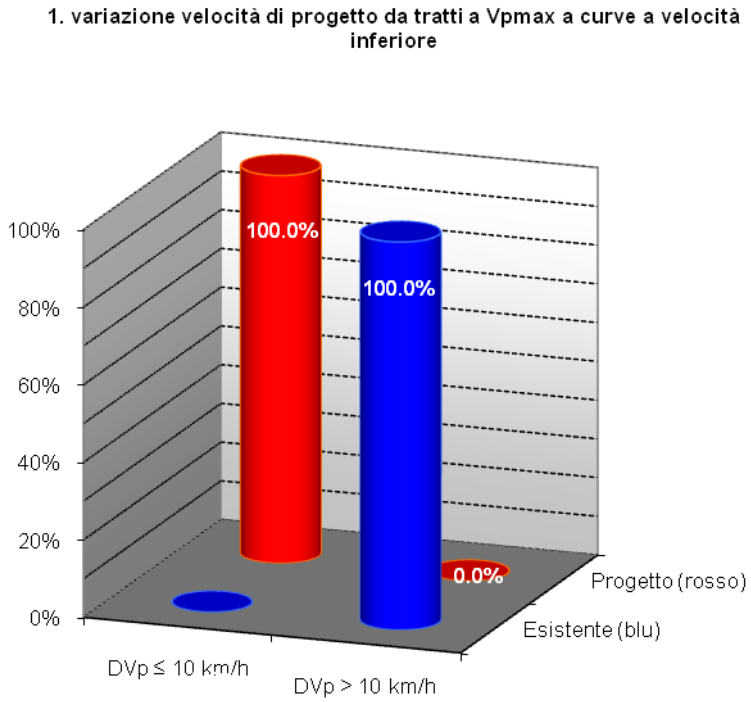

Figura 6 – Variazioni di velocità di progetto da tratti a Vpmax a curve a velocità inferiore

Di seguito sono state valutate le variazioni di velocità tra curve successive; in Figura 7 sono rappresentati i risultati ottenuti.

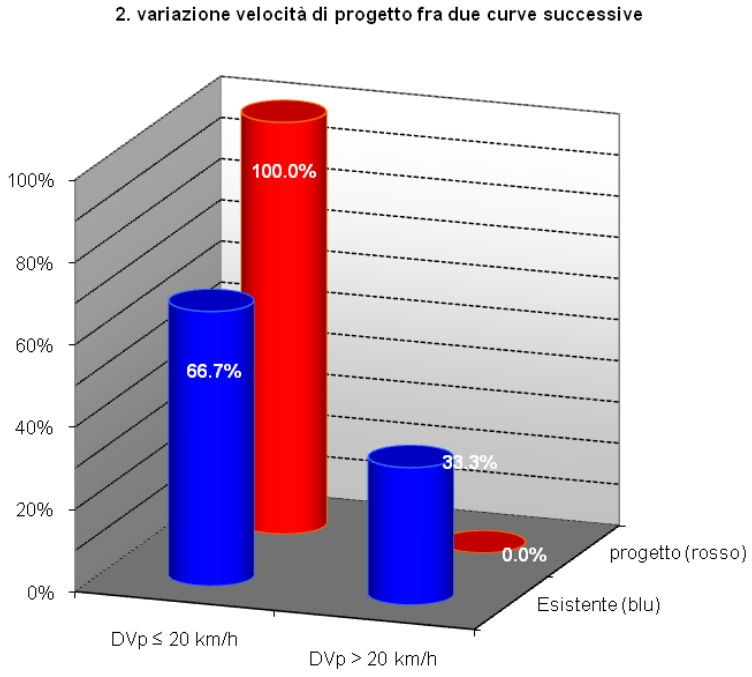

Figura 7 - Variazioni di velocità di progetto tra curve successive.

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 pavimentazione 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.

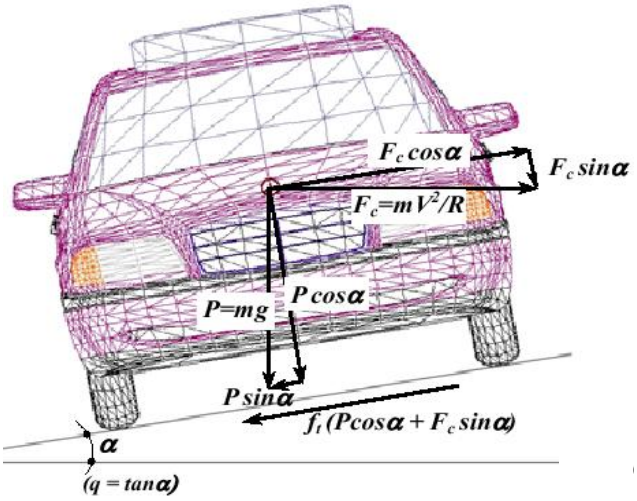

Figura 8 – Equilibrio del veicolo in curva

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.

In Tabella 4 si riportano i valori delle velocità limite allo sbandamento[3] calcolati per l'infrastruttura esistente (*Vlim,e*) e per il progetto (*Vlim,p*), nonché l'incremento (*ΔVlim*) che il nuovo tracciato realizza.

R,e (m)	R,p (m)	ic,e (%)	ic,p (%)	Vlim,e (km/h)	Vlim,p (km/h)	ΔVlim (km/h)
2100.0	2098.0	2.1	4.3	164.8	178.4	13.6
6000.0	5998.0	-2.3	2.5	194.6	255.8	61.2
5000.0	5002.0	-2.1	2.5	185.2	237.6	52.4
5000.0	5002.0	-1.8	2.5	188.8	237.6	48.8
1080.0	1082.0	2.3	6.5	127.5	145.0	17.5

Tabella 4 – Calcolo delle variazioni della velocità limite allo sbandamento

In particolare nel calcolo si è tenuto conto sia della variazione dell'accelerazione centripeta agente sul veicolo per effetto della variazione del raggio della curva, sia dell'incremento del contributo stabilizzante (accelerazione centripeta compensata) per effetto delle maggiori sovraelevazioni.

Dall'osservazione del grafico riportato in Figura 9, nel quale si sintetizzano i risultati ottenuti con riferimento all'incremento della velocità limite allo sbandamento, risulta che in tutte le curve, comunque caratterizzate già da valori mediamente elevati della velocità limite di sbandamento, si realizza un miglioramento e che nel 60% delle curve la velocità aumenta di un valore superiore a 40 km/h.

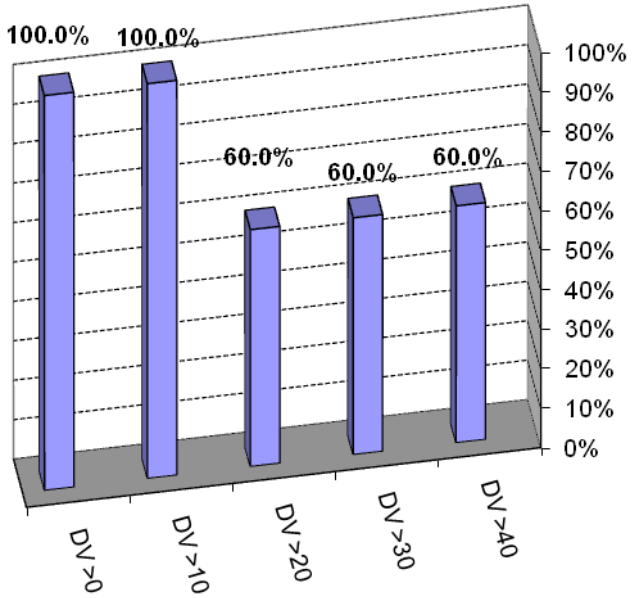

Figura 9 – Distribuzione cumulata della variazione di velocità limite allo sbandamento in curva

In termini di sicurezza stradale vengono pertanto ridotte le cause degli incidenti per fuoriuscita di veicoli isolati in curva, in particolare in condizione di pavimentazione bagnata.

[3] Il calcolo della velocità limite allo sbandamento è stato eseguito facendo riferimento al modello fisico-matematico di "equilibrio dinamico in curva" (vedi Figura 12), che stabilisce le relazioni che intercorrono tra raggio planimetrico di una curva circolare (R), velocità di percorrenza (V) e pendenza trasversale (q) per imposti valori di aderenza trasversale limite (ft,lim). I valori di limite del coefficiente di aderenza impegnabile trasversalmente sono stati desunti dal DM 6792/2001.

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.

Per valutare l'innalzamento degli standard di sicurezza rispetto all'infrastruttura attuale è stato pertanto sviluppato uno studio comparativo delle visibilità disponibili in corrispondenza delle curve circolari.

In Tabella 5 si riportano i risultati dell'analisi di visibilità in termini comparativi tra il tracciato esistente ed il tracciato autostradale di progetto per entrambe le carreggiate. Il confronto è stato effettuato, oltre che sulla base dei valori delle distanze di visuale libera geometrica effettivamente disponibili, utilizzando un ulteriore parametro di riferimento rappresentato dalla velocità ammissibile, ovvero la velocità per cui la distanza di visibilità per l'arresto è pari alla distanza di visuale libera geometricamente disponibile.

Carreggiata	Raggio esistente curva [m]	Raggio progetto curva [m]	Verso	Distanze di visuale libera esistente [m]	Distanze di visuale libera progetto [m]	Δ Distanza di visuale libera [m]	Δ Distanza di visuale libera [%]	Velocità ammissibile esistente [km/h]	Velocità ammissibile progetto [km/h]	Δ Velocità ammissibile [km/h]	Δ Velocità ammissibile [%]
NORD	2100	2098	DX	278.3	285.3	**+ 9.0**	**+ 2.5**	120	120	**+ 0.0**	**+ 0.0**
	6000	5998	DX	470.9	483.2	**+ 0.0**	**+ 2.6**	120	120	**+ 0.0**	**+ 0.0**
	5000	5002	SX	293.7	321.1	**+ 1.0**	**+ 9.3**	120	120	**+ 0.0**	**+ 0.0**
	5000	5002	SX	293.7	321.1	**+ 2.0**	**+ 9.3**	120	120	**+ 0.0**	**+ 0.0**
	1080	1082	SX	136.6	149.6	**+ 4.0**	**+ 9.5**	103.1	109	**+ 5.9**	**+ 5.7**
SUD	2100	2102	S	190.4	208.3	**17.9**	**9.4**	120	120	**+ 0.0**	**+ 0.0**
	6000	6002	S	321.7	351.7	**+ 30.0**	**+ 9.3**	120	120	**+ 0.0**	**+ 0.0**
	5000	4998	D	429.8	441.0	**+ 11.2**	**+ 2.6**	120	120	**+ 0.0**	**+ 0.0**
	5000	4998	D	429.8	441.0	**+ 11.2**	**+ 2.6**	120	120	**+ 0.0**	**+ 0.0**
	1080	1078	D	199.3	204.0	**+ 4.7**	**+ 2.3**	120	120	**+ 0.0**	**+ 0.0**

Tabella 5 - Confronto esistente - progetto

(*) La verifica è stata eseguita limitando la velocità ammissibile a 120 km/h, pari al valore limite da Codice della Strada in condizioni di pavimentazione bagnata aumentato di 10 km/h

In generale la configurazione di progetto consente un miglioramento della visibilità in particolare per le curve sinistrorse, e aumenta la velocità ammissibile sull'unica curva (di raggio 1080 m) dove non è garantito il valore di 120 km/h.

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 integrazioni[4]).

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 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

[4] 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)

Il progetto prevede l'istallazione 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.

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 Bologna Arcoveggio e Ferrara 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/10^6 veicoli x km.

L'analisi condotta sul tratto autostradale in oggetto ha portato ai risultati sintetizzati in Tabella 10 ed in Tabella 11 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 10^6 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	26'350	26'862
2007	26'243	27'329
2008	27'524	27'999
2009	27'810	28'102
2010	28'476	28'714
2011	28'300	28'555
2012	26'446	26'664
2013	25'917	26'145
2014	26'205	26'508
2015	26'481	26'803

Tabella 6 – Dati di traffico utilizzati_Bologna Arcoveggio – Bologna Interporto

Anno	Nord	Sud
2006	24'924	25'083
2007	25'290	25'592
2008	25'741	25'815
2009	25'831	25'755
2010	26'385	26'283
2011	26'179	26'090
2012	24'415	24'300
2013	23'988	23'886
2014	24'382	24'309
2015	24'768	24'667

Tabella 7 – Dati di traffico utilizzati_Bologna Interporto – Altedo

Anno	Nord	Sud
2006	23'929	24'207
2007	24'282	24'626
2008	24'517	24'697
2009	24'536	24'562
2010	24'995	25'026
2011	24'826	24'882
2012	23'157	23'183
2013	22'857	22'860
2014	23'277	23'302
2015	23'711	23'659

Tabella 8 – Dati di traffico utilizzati_Altedo – Ferrara 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 9).

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 9 – 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 10 ed in Tabella 11 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 10^6 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)
1	1.00	1.99	17	98'459'861	0.173	0.214	0.410	B
2	2.00	2.99	10	98'459'861	0.102	0.214	0.410	B
3	3.00	3.99	17	98'459'861	0.173	0.214	0.410	B
4	4.00	4.99	25	98'459'861	0.254	0.214	0.410	M
5	5.00	5.99	22	98'459'861	0.223	0.214	0.410	M
6	6.00	6.99	29	98'459'861	0.295	0.214	0.410	M
7	7.00	7.99	48	98'459'861	0.488	0.214	0.410	A
8	8.00	8.99	23	91'945'072	0.250	0.211	0.414	M
9	9.00	9.99	34	91'945'072	0.370	0.211	0.414	M
10	10.00	10.99	24	91'945'072	0.261	0.211	0.414	M
11	11.00	11.99	30	91'945'072	0.326	0.211	0.414	M
12	12.00	12.99	19	91'945'072	0.207	0.211	0.414	B
13	13.00	13.99	22	91'945'072	0.239	0.211	0.414	M
14	14.00	14.99	26	91'945'072	0.283	0.211	0.414	M
15	15.00	15.99	28	91'945'072	0.305	0.211	0.414	M
16	16.00	16.99	22	91'945'072	0.239	0.211	0.414	M
17	17.00	17.99	15	91'945'072	0.163	0.211	0.414	B
18	18.00	18.99	27	91'945'072	0.294	0.211	0.414	M
19	19.00	19.99	12	91'945'072	0.131	0.211	0.414	B
20	20.00	20.99	21	91'945'072	0.228	0.211	0.414	M
21	21.00	21.99	18	87'632'112	0.205	0.208	0.416	B
22	22.00	22.99	12	87'632'112	0.137	0.208	0.416	B
23	23.00	23.99	18	87'632'112	0.205	0.208	0.416	B
24	24.00	24.99	24	87'632'112	0.274	0.208	0.416	M
25	25.00	25.99	35	87'632'112	0.399	0.208	0.416	M
26	26.00	26.99	13	87'632'112	0.148	0.208	0.416	B
27	27.00	27.99	30	87'632'112	0.342	0.208	0.416	M
28	28.00	28.99	16	87'632'112	0.183	0.208	0.416	B
29	29.00	29.99	21	87'632'112	0.240	0.208	0.416	M
30	30.00	30.99	14	87'632'112	0.160	0.208	0.416	B
31	31.00	31.99	15	87'632'112	0.171	0.208	0.416	B
32	32.00	32.99	25	87'632'112	0.285	0.208	0.416	M
33	33.00	33.99	32	87'632'112	0.365	0.208	0.416	M
34	34.00	34.99	1	87'632'112	0.011	0.208	0.416	B
TOT	**1.00**	**34.99**	**745**	**3'111'354'526**	**0.239**	**0.296**	**0.329**	**B**

Tabella 10 – 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)
1	1.00	1.99	41	99'893'291	0.410	0.215	0.409	A
2	2.00	2.99	43	99'893'291	0.430	0.215	0.409	A
3	3.00	3.99	26	99'893'291	0.260	0.215	0.409	M
4	4.00	4.99	24	99'893'291	0.240	0.215	0.409	M
5	5.00	5.99	21	99'893'291	0.210	0.215	0.409	B
6	6.00	6.99	30	99'893'291	0.300	0.215	0.409	M
7	7.00	7.99	45	99'893'291	0.450	0.215	0.409	A
8	8.00	8.99	30	91'899'694	0.326	0.211	0.414	M

Fascia km	Pr_in	Pr_fin	Incidenti	km percorsi	Ti	Tinf	Tsup	Livello Inc.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
9	9.00	9.99	23	91'899'694	0.250	0.211	0.414	M
10	10.00	10.99	35	91'899'694	0.381	0.211	0.414	M
11	11.00	11.99	26	91'899'694	0.283	0.211	0.414	M
12	12.00	12.99	21	91'899'694	0.229	0.211	0.414	M
13	13.00	13.99	31	91'899'694	0.337	0.211	0.414	M
14	14.00	14.99	34	91'899'694	0.370	0.211	0.414	M
15	15.00	15.99	28	91'899'694	0.305	0.211	0.414	M
16	16.00	16.99	29	91'899'694	0.316	0.211	0.414	M
17	17.00	17.99	35	91'899'694	0.381	0.211	0.414	M
18	18.00	18.99	28	91'899'694	0.305	0.211	0.414	M
19	19.00	19.99	30	91'899'694	0.326	0.211	0.414	M
20	20.00	20.99	42	91'899'694	0.457	0.211	0.414	A
21	21.00	21.99	42	87'966'192	0.477	0.209	0.416	A
22	22.00	22.99	23	87'966'192	0.261	0.209	0.416	M
23	23.00	23.99	23	87'966'192	0.261	0.209	0.416	M
24	24.00	24.99	29	87'966'192	0.330	0.209	0.416	M
25	25.00	25.99	22	87'966'192	0.250	0.209	0.416	M
26	26.00	26.99	39	87'966'192	0.443	0.209	0.416	A
27	27.00	27.99	19	87'966'192	0.216	0.209	0.416	M
28	28.00	28.99	14	87'966'192	0.159	0.209	0.416	B
29	29.00	29.99	17	87'966'192	0.193	0.209	0.416	B
30	30.00	30.99	19	87'966'192	0.216	0.209	0.416	M
31	31.00	31.99	11	87'966'192	0.125	0.209	0.416	B
32	32.00	32.99	33	87'966'192	0.375	0.209	0.416	M
33	33.00	33.99	78	87'966'192	0.887	0.209	0.416	A
34	34.00	34.99	7	87'966'192	0.080	0.209	0.416	B
TOT	**1.00**	**34.99**	**998**	**3'125'475'755**	**0.319**	**0.296**	**0.329**	**M**

Tabella 11 - Risultati analisi incidentale, carreggiata SUD

Come evidenziato nelle tabelle, nel periodo di osservazione, di durata 10 anni, si sono verificati complessivamente 1743 incidenti con una prevalenza per la carreggiata nord (998 incidenti contro 745 in carreggiata sud).

In termini di livelli incidentali la carreggiata nord risulta caratterizzata da un livello medio-basso, ad eccezione della fascia chilometrica km 7, ubicata in prossimità dello svincolo di Bologna Interporto, caratterizzata da incidentalità alta in quanto il tasso di incidentalità supera il valore di controllo superiore (Tsup=0.410); 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, ad eccezione delle fasce chilometriche km 1-2, 7, 20-21, 33 ubicate rispettivamente in prossimità dello svincolo di Bologna Arcoveggio, dello svincolo di Bologna Interporto, dello svincolo di Altedo e dello svincolo di Ferrara sud caratterizzate da incidentalità alta in quanto il tasso di incidentalità supera il valore di controllo superiore (Tsup=0.409 nella tratta Bologna Arcoveggio-Bologna Interporto, 0.414 nella tratta Bologna Interporto-Altedo e 0.416 nella tratta Altedo-Ferrara sud); anche in questi ambiti il tasso di incidentalità più elevato può essere riconducibile alle manovre di diversione/immissione compiute dagli utenti.

Per una migliore comprensione di quanto detto sopra si riporta di seguito l'analisi eseguita in termini di frequenza incidentale. In Tabella 12 ed in Tabella 13, 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 9.

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 alcuni tratti però che, durante il periodo di analisi, evidenziano il raggiungimento della soglia tendenziale; tali tratti, a conferma di quanto detto precedentemente, risultano corrispondenti al km 7 in carreggiata nord ed ai km 1, 26, 33 in carreggiata sud; in particolare al km 33 in carreggiata sud il fenomeno si manifesta per quattro anni rispetto al periodo di analisi di dieci.

Fascia km	Carreggiata nord									
	anno 2006	anno 2007	anno 2008	anno 2009	anno 2010	anno 2011	anno 2012	anno 2013	anno 2014	anno 2015
1	2	1	1	2	3	1	1	3	2	1
2	0	0	5	2	0	1	0	0	0	2
3	2	5	2	2	1	1	0	2	0	2
4	2	4	4	4	1	5	2	2	0	1
5	3	3	3	2	3	1	1	3	0	3
6	5	2	2	5	0	3	4	4	2	2
7	11	5	9	5	2	7	1	0	4	4
8	0	1	2	2	2	1	3	2	5	5
9	5	2	3	2	4	4	5	2	6	1
10	1	3	4	0	2	2	5	2	0	5
11	6	4	3	0	2	4	3	5	1	2
12	1	1	4	1	4	0	3	2	0	3
13	2	3	3	3	3	0	3	2	1	2
14	3	0	5	3	2	2	2	1	3	5
15	5	1	6	1	3	2	3	4	1	2
16	3	3	1	3	2	3	2	2	2	1
17	2	2	2	3	1	1	1	2	1	0
18	3	3	2	1	2	4	1	4	4	3
19	4	0	0	1	3	1	1	1	1	0
20	1	2	5	1	3	4	3	1	1	0
21	2	2	4	2	0	2	2	1	2	1
22	1	2	2	0	3	1	1	1	0	1
23	1	2	4	1	0	2	1	5	1	1
24	1	4	1	4	3	1	2	2	5	1
25	4	2	2	3	3	5	2	7	4	3
26	1	0	2	6	0	0	2	0	0	2
27	2	5	2	2	4	3	5	6	1	0
28	1	3	1	3	1	2	1	0	2	2
29	0	1	2	2	3	3	0	5	1	4
30	1	2	0	4	2	1	0	2	0	2
31	2	2	1	0	2	0	3	1	1	3
32	3	2	0	3	1	1	7	1	5	2
33	4	4	2	3	1	2	6	5	3	2
34	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Tabella 12 – 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
1	14	8	5	1	3	3	1	1	0	5
2	6	6	6	1	9	4	2	2	4	3
3	4	3	5	1	8	0	1	3	1	0
4	4	4	2	1	1	2	2	4	2	2
5	5	2	2	0	4	0	2	2	1	3
6	2	4	6	4	1	1	4	2	4	2
7	6	5	5	4	6	4	4	4	4	3
8	5	4	1	1	4	4	4	3	3	1
9	1	1	4	4	1	2	1	2	2	5
10	6	1	3	7	4	4	3	1	2	4
11	6	2	4	3	2	1	3	3	1	1
12	4	1	1	1	2	2	1	4	2	3
13	1	4	3	3	3	2	3	3	4	5
14	5	4	0	3	4	6	3	4	5	0
15	5	3	4	2	2	3	2	2	2	3
16	5	2	4	1	3	2	2	3	3	4
17	4	5	4	5	3	4	2	2	6	0
18	2	2	3	1	7	2	3	3	4	1
19	1	4	3	2	8	1	3	5	1	2
20	1	5	3	5	3	2	7	3	5	8
21	2	6	1	7	3	5	8	2	4	4
22	2	3	5	0	2	3	3	1	4	0
23	5	2	3	2	1	3	0	2	2	3
24	2	5	2	0	7	3	1	5	3	1
25	0	3	1	3	5	0	1	6	1	2
26	3	4	1	10	4	4	3	1	5	4
27	2	1	1	1	3	3	1	1	2	4
28	1	4	2	1	3	1	1	0	1	0
29	3	1	1	0	4	1	1	3	0	3
30	1	1	2	1	3	3	3	0	4	1
31	1	2	0	0	0	2	0	1	3	2
32	5	6	5	2	0	1	3	4	3	4
33	7	8	3	6	10	11	14	14	1	4
34	2	2	0	1	0	0	0	0	2	0

Tabella 13 - 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 10, 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.

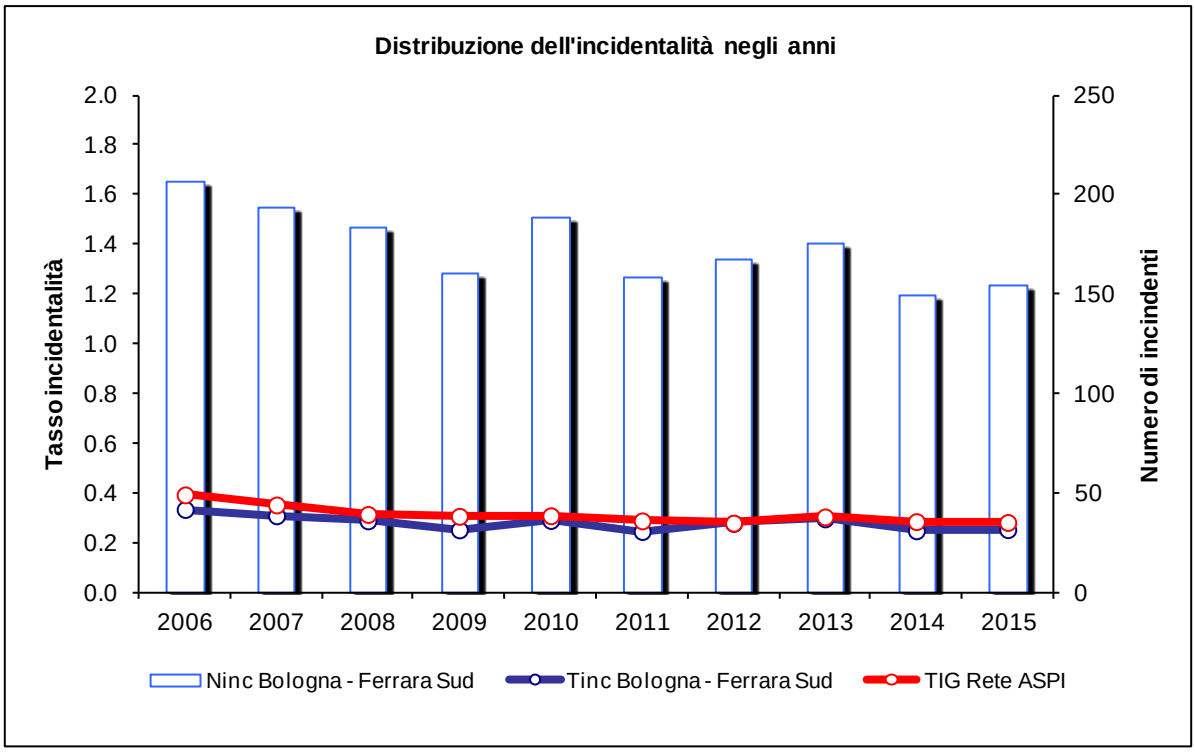

Figura 10 – Evoluzione dell'incidentalità

Un ulteriore spunto di riflessione proviene dall'analisi qualitativa degli incidenti che interessano il tratto in questione. Come si può notare in Figura 11 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 sicurvia, 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 rettifilo 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.

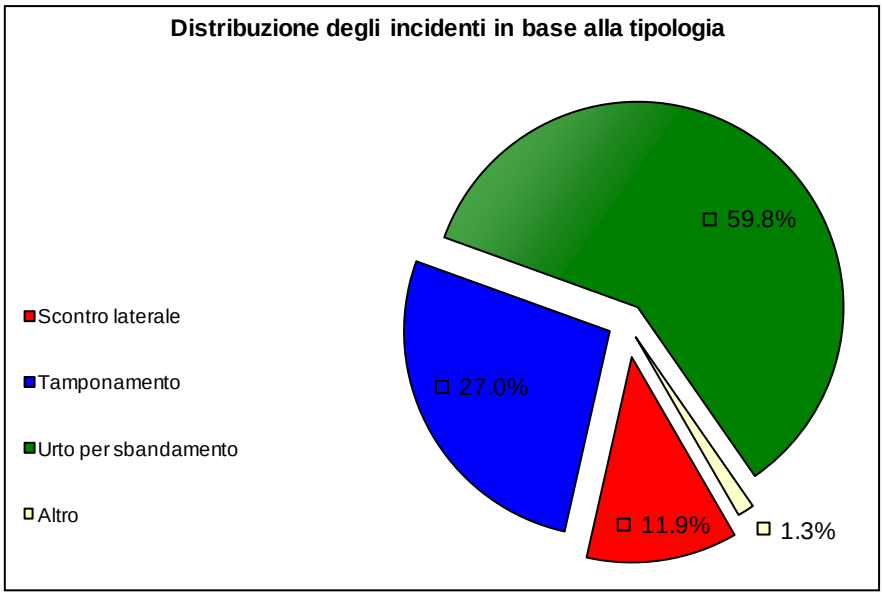

Figura 11 – Incidenti per tipologia d'urto

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:

- inserimento di curve a raggio variabile (raccordi 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:

- Adeguamento delle corsie specializzate di immissione e diversione;
- Interposizione tra due elementi a raggio costante (curve circolari, ovvero rettifilo e curva circolare) di curve a raggio variabile (raccordi 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 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 12, 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 $\pm$ 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 plano – altimetrica e l'organizzazione della sezione non consentono di garantire la visibilità richiesta dalla norma.

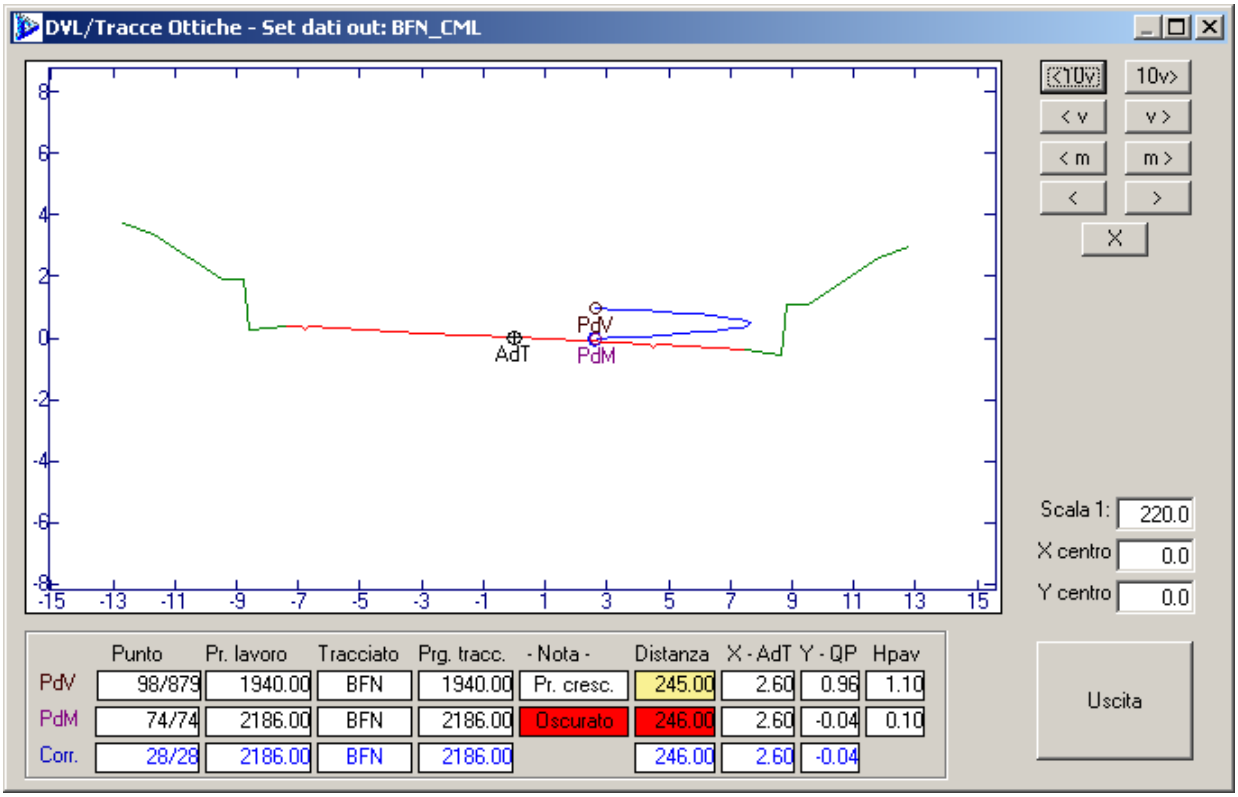

Figura 12 - Esempio di diagramma per il calcolo della distanza di visuale libera

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:

$$D_A = D_1 + D_2 = \frac{V_0}{3{,}6} \times \tau - \frac{1}{3{,}6^2} \int_{V_0}^{V_1} \frac{V}{g \times \left[f_l(V) \pm \frac{i}{100} \right] + \frac{Ra(V)}{m} + r_0(V)} dV \qquad [m]$$

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]
Ra = 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 14. 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 14 - 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.

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

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 10^6 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:

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

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

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 15.

LIVELLO DI INCIDENTALITÀ	VALORE DI T_i
Basso	$T_i < T^*_{\text{inf}}$
Medio	$T^*_{\text{inf}} < T_i < T^*_{\text{sup}}$
Alto	$T_i > T^*_{\text{sup}}$

Tabella 15: schema per la definizione del livello di incidentalità