

autostrade // per l'italia

AUTOSTRADA (A1) : MILANO NAPOLI

AMPLIAMENTO ALLA QUARTA CORSIA
DEL TRATTO MILANO SUD (Tang. Ovest) – LODI

PROGETTO DEFINITIVO


DOCUMENTAZIONE GENERALE

PARTE GENERALE
ANALISI DEGLI ASPETTI CONNESSI
CON LE ESIGENZE DI SICUREZZA STRADALE

(ex DM. n. 67/S del 22.04.2004)

<p>IL RESPONSABILE PROGETTAZIONE SPECIALISTICA Ing. Massimiliano Giacobbi Ord. Ingg. Milano N. 20746 RESPONSABILE UFFICIO STD</p>	<p>IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Ing. Massimiliano Giacobbi Ord. Ingg. Milano N. 20746 RESPONSABILE AREA DI PROGETTO MILANO</p>	<p>IL DIRETTORE TECNICO Ing. Maurizio Torresi Ord. Ingg. Milano N. 16492 RESPONSABILE FUNZIONE STP</p>
---	---	--

WBS	RIFERIMENTO ELABORATO					DATA:	REVISIONE	
	DIRETTORIO			FILE			n.	data
—	codice commessa	N.Prog.	unita'	n. progressivo		DICEMBRE 2010	01	MARZO 2011
—	1	1	0	1	5	SCALA: —	02	APRILE 2011
	1	1	0	1	5			
	9	0	1	STD0006-2				

	<p>COORDINATORE OPERATIVO DI PROGETTO Ing. Federica Ferrari</p>	<p>ELABORAZIONE GRAFICA A CURA DI :</p> <p>ELABORAZIONE PROGETTUALE A CURA DI :</p>	
<p>CONSULENZA A CURA DI : —</p>		<p>IL RESPONSABILE UFFICIO/UNITA'</p>	

<p>VISTO DEL COORDINATORE GENERALE SPEA DIREZIONE OPERATIVA PROGETTAZIONE ED ESECUZIONE LAVORI ASPI Ing. Alberto Selleri</p>	<p>VISTO DEL COMMITTENTE </p>	<p>VISTO DEL CONCEDENTE </p>
---	--	---

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	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO DI AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA (IL PROGETTO)	6
4.1	Caratteristiche plano-altimetriche	7
4.2	Organizzazione della sezione trasversale	9
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 e innalzamento pendenze trasversali	11
5.1.2.3	Adeguamento delle corsie specializzate di immissione e diversione	12
5.1.3	Barriere di sicurezza	12
5.1.4	Pavimentazioni	13
5.1.5	Segnaletica stradale	13
5.2	Individuazione dei livelli di incidentalità e descrizione dei miglioramenti introdotti in progetto	14
5.2.1	Analisi di incidentalità	14
5.2.1.1	Risultati dell'analisi di incidentalità	16
5.2.2	Descrizione degli miglioramenti introdotti in progetto	20
6	CONCLUSIONI	21
	APPENDICE A – CRITERI PER L'ANALISI DI VISIBILITA'	22
	Calcolo delle distanze di visuale libera	22
	Calcolo della distanza di visibilità per l'arresto	23
	APPENDICE B – CRITERI PER L'ANALISI DI INCIDENTALITÀ	25

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 quarta corsia dell'Autostrada A1 Milano – Napoli, nel tratto Milano Sud (Tangenziale Ovest) - Lodi.

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'attuale tracciato autostradale conserva fino all'altezza dell'abitato di Lodi Vecchio (progr. km 17+716) le caratteristiche geometriche degli interventi di ampliamento alla terza corsia realizzati nei primi anni '90, mentre la tratta realizzata in variante, realizzata per il passaggio della linea ferroviaria ad alta velocità e che termina poco prima dello svincolo di Lodi (progr. km 21-176), risulta di recente costruzione.

Nella tratta in studio tutte le opere d'arte di scavalco si presentano già predisposte all'ampliamento della piattaforma pertanto, le modifiche progettuali apportate, sono tali da utilizzare quanto più possibile la sede stradale attuale e le opere d'arte esistenti al fine di ridurre l'impatto ambientale ed economico degli interventi.

La nuova linea ferroviaria ad alta velocità è stata realizzata in affiancamento alla A1 per circa 130 chilometri a partire circa dal km 17+700 (scelta fatta per evitare ulteriori tagli alle aree agricole e minimizzare l'estensione delle nuove infrastrutture).

All'altezza di Lodi Vecchio, per mancanza di spazio nel corridoio tra la A1 e l'abitato, i cantieri della TAV hanno previsto una variante, ad oggi già realizzata, all'attuale tracciato dell'autostrada, per complessivi 3.460 metri, (progr. km 17+716÷ 21+176) con lo spostamento dell'asse verso S-O di circa 45.00 metri introducendo tre curve rispettivamente di raggio R=10000, R=9000 e R=10000. E' stato altresì realizzato il nuovo svincolo per il casello di Lodi che è stato spostato di circa 500 metri a nord per consentire l'inserimento della linea ad alta velocità tra il casello e la sede autostradale esistente. In particolare l'opera prevede uno scavalco che sovrappassa l'autostrada e la linea A.V. proseguendo in quota verso Lodi con un secondo cavalcavia sulla nuova rotatoria di svincolo con l'A1.

3.1 Caratteristiche plano-altimetriche

L'intervento si sviluppa dalla progressiva 4+882 (in corrispondenza della Tangenziale Ovest di Milano - A50) fino alla progressiva 21+922 ad esclusione della barriera di Milano Sud (dalla progr. km 8+665 alla progr km 9+548), per uno sviluppo complessivo di 16.457 km.

Sulla base dei rilievi topografici è stato ricostruito sia l'asse planimetrico dell'attuale piattaforma stradale, sia l'andamento altimetrico lungo il tratto in esame. Il tracciato presenta all'inizio un unico rettilo lungo circa 3.8 km che termina in corrispondenza della barriera per poi piegare in sinistra con una curva di raggio R=2400 m ed una destrorsa di raggio R=2500 m separate da un rettilo lungo circa 1.2 km; dopo un rettilo di quasi quattro chilometri il tracciato diventa quello della variante di Lodi vecchio dove sono presenti tre curve di ampio raggio pari rispettivamente a R=9000, R=10000, R=9000 metri per poi tornare sul sedime originario con un tratto in rettilo fino allo svincolo di Lodi (fine intervento progr. km 21+922); l'asse attuale non presenta curve a raggio variabile (clotoidi).

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	4 882.000	8 668.250	3 786.250	R		

Tabella 1 - Riepilogo caratteristiche planimetriche asse esistente (km 4+882 – km 8+668)

Elem	ProgrInizio (m)	ProgrFine (m)	Lungh. (m)	TipoElem	Parametro	Vs
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	9 254.000	9 474.718	220.718	R		
2	9 474.718	11 070.901	1596.183	C	2400.00	SX
3	11 070.901	12 376.693	1305.792	R		
4	12 376.693	13 705.692	1328.999	C	2500.00	DX
5	13 705.692	17 722.066	4016.374	R		
6	17 621.508	17 847.375	225.867	AT	1377.46	
7	17 847.375	18 037.449	190.074	C	8400.56	DX
8	18 037.449	18 363.257	325.808	AF	1654.38	
9	18 363.257	18 639.440	276.183	AF	1654.38	
10	18 639.440	19 691.645	1052.205	C	9910.00	SX
11	19 691.645	19 918.688	227.043	AT	1500.00	
12	19 918.688	20 793.561	874.873	R		
13	20 793.561	20 936.418	142.857	AT	1000.00	
14	20 936.418	21 037.278	100.860	C	7000.00	DX
15	21 037.278	21 180.135	142.857	AT	1000.00	
16	21 180.135	21 926.875	746.740	R		

Tabella 2 - Riepilogo caratteristiche planimetriche asse esistente (km 9+248 – km 21+926)

Con riferimento all'andamento altimetrico il tracciato risultata complessivamente pianeggiante con pendenza longitudinale media inferiore all'1% e caratterizzato da raccordi verticali di raggio superiore a 10000 m.

3.2 Organizzazione della sezione trasversale

L'autostrada esistente è organizzata in due carreggiate separate da uno spartitraffico di larghezza pari a circa 2.40 m con dispositivi di ritenuta in cls in configurazione bifilare. Ciascuna carreggiata è composta da tre corsie di marcia più corsia di emergenza così organizzate: corsia di emergenza da 3.00 m, corsie di marcia lenta e veloce da 3.75 m, corsia di sorpasso da 3.50 m e banchina in sinistra da 0.80 m circa (margine interno 4.00 m). La larghezza complessiva dell'attuale piattaforma è di circa 32.00 m. In rilevato gli elementi marginali sono costituiti da arginelli da 0.75 m, su cui sono alloggiate le barriere di sicurezza metalliche.

La pendenza trasversale in rettilo risulta variabile (pt media pari a 1.60).

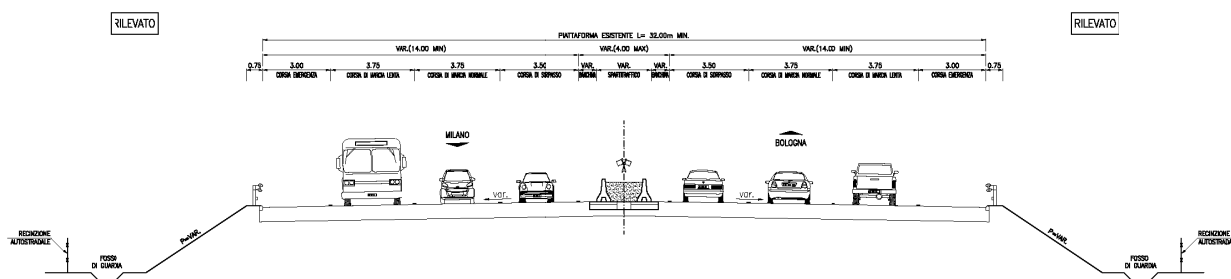


Figura 1 – Sezione tipo esistente

4 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO DI AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA (IL PROGETTO)

L'intervento si sviluppa dalla progressiva 4+882 (in corrispondenza della Tangenziale Ovest di Milano - A50) fino alla progressiva 21+922 ad esclusione della barriera di Milano Sud (dalla progr. km 8+665 alla progr km 9+548), per uno sviluppo complessivo di 16.457 km.

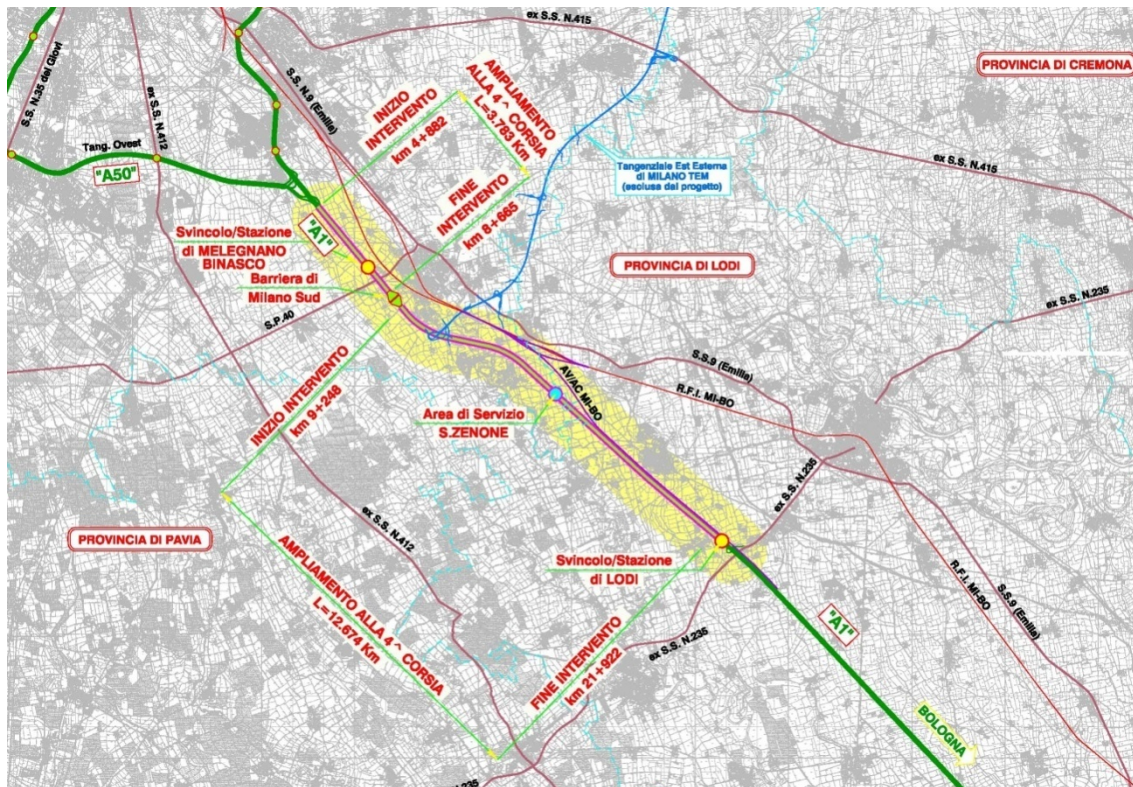


Figura 2 - Inquadramento territoriale

Sia per il tratto iniziale tra la tangenziale ovest e la barriera di Milano sud che per il tratto successivo dalla barriera allo svincolo di Lodi si prevede l'ampliamento alla 4ª corsia della sede stradale. Il tratto corrispondente alla barriera di Milano Sud non necessita di intervento in quanto la sezione stradale è di larghezza idonea per raccordarsi con gli interventi di ampliamento alla quarta corsia a monte e a valle.

Nelle sezioni di inizio e fine intervento le quarte corsie vanno a perdersi sulle rampe di diversione/immissione degli svincoli esistenti, infatti la progressiva di inizio intervento (4+882) nasce con la rampa di immissione in carreggiata sud (direz. Bologna) mentre l'intervento in carreggiata nord (interconnessione Tang. Ovest) inizia con lo sfiocco della rampa di diversione (km 5+129). All'interno della tratta d'intervento, ricadono l'Area Punto Blu (km 8+500), l'Area di Servizio S.Zenone (km 15+100) e, solo parzialmente, le rampe d'interconnessione con la A50, lo svincolo di Binasco (Stazione di Melegnano km 7+684) e lo svincolo di Lodi.

I criteri progettuali alla base dello studio prevedono un allargamento laterale dell'attuale sedime, per carreggiata, di complessivi 4.00 m, al fine di realizzare la quarta corsia di marcia ed adeguare, alla norma di riferimento costituita dal DM 6792/2001, le dimensioni delle corsie di marcia,

dimensionando inoltre gli elementi marginali per un corretto funzionamento dei dispositivi di sicurezza conformemente alle disposizioni del DM 223/92 e ss.mm.

4.1 Caratteristiche plano-altimetriche

Le modifiche progettuali apportate sono state tali da utilizzare quanto più possibile l'attuale sede stradale e conservare le opere d'arte già predisposte all'ampliamento, al fine di ridurre l'impatto ambientale ed economico dell'intervento.

Complessivamente il tracciato di progetto si mantiene aderente al tracciato attuale: l'intervento prevede infatti ovunque un ampliamento della piattaforma in sede e simmetrico; sono state apportate alcune correzioni ai raggi planimetrici relativi al flesso presente nel tratto di variante (le curve di raggio R=9000 m, R=10000 m e R=9000 m sono state sostituite con curve di raggio R1=8400 m, R=9900 m e R=7000 m) e sono stati introdotte curve a raggio variabile (clotoidi). L'asse esistente non presenta raccordi di transizione e gli interventi previsti da questo studio sono mirati al miglioramento delle performance dell'attuale tracciato ottimizzando, ove possibile, le principali caratteristiche geometriche dell'arteria con l'inserimento anche per il tratto terminale delle curve a raggio variabile.

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

In Tabella 3 e in Tabella 4 vengono sintetizzate le caratteristiche degli elementi planimetrici che compongono l'asse autostradale rispettivamente per l'asse sud e l'asse nord. 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
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	4 882.000	8 668.248	3786.248	R			
2	8 668.248	9 417.215	748.967	R			
3	9 417.215	9 521.338	104.123	AT	500.31		
4	9 521.338	11 022.088	1500.750	C	2404.00	SX	3.90
5	11 022.088	11 126.211	104.123	AT	500.31		
6	11 126.211	12 335.281	1209.070	R			
7	12 335.281	12 416.249	80.968	AT	449.73		
8	12 416.249	13 665.341	1249.092	C	2498.00	DX	3.81
9	13 665.341	13 746.308	80.968	AT	449.73		
10	13 746.308	16 891.155	3144.847	R			
11	16 891.155	16 975.468	84.313	C	200002.00	SX	2.50
12	16 975.468	17 624.399	648.931	R			

Elem	ProgrInizio (m)	ProgrFine (m)	Lungh. (m)	TipoElem	Parametro	Vs	ic
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
13	17 624.399	17 850.239	225.840	AT	1377.22		
14	17 850.239	18 040.188	189.949	C	8398.56	DX	2.50
15	18 040.188	18 366.056	325.868	AF	1654.34		
16	18 366.056	18 642.168	276.112	AF	1654.34		
17	18 642.168	19 694.663	1052.495	C	9912.00	SX	2.50
18	19 694.663	19 921.729	227.066	AT	1500.23		
19	19 921.729	20 796.601	874.872	R			
20	20 796.601	20 939.438	142.837	AT	999.79		
21	20 939.438	21 040.249	100.811	C	6998.00	DX	2.50
22	21 040.249	21 183.085	142.837	AT	999.79		
23	21 183.085	21 423.180	240.095	R			
24	21 423.180	21 496.151	72.970	C	49998.00	DX	2.50
25	21 496.151	22 306.323	810.172	R			

Tabella 3 – Riepilogo caratteristiche planimetriche carreggiata sud

Elem	ProgrInizio (m)	ProgrFine (m)	Lungh. (m)	TipoElem	Parametro	Vs	ic
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	4.882,000	8.668,249	3786,249	R			
2	8.668,249	9.417,259	749,010	R			
3	9.417,259	9.521,295	104,037	AT	499,69		
4	9.521,295	11.019,461	1498,166	C	2400,00	SX	3,91
5	11.019,461	11.123,498	104,037	AT	499,69		
6	11.123,498	12.332,579	1209,081	R			
7	12.332,579	12.413,611	81,032	AT	450,27		
8	12.413,611	13.664,768	1251,157	C	2502,00	DX	3,80
9	13.664,768	13.745,800	81,032	AT	450,27		
10	13.745,800	16.895,615	3149,815	R			
11	16.895,615	16.969,926	74,311	C	199998,00	SX	2,50
12	16.969,926	17.623,830	653,904	R			
13	17.623,830	17.849,724	225,894	AT	1377,71		
14	17.849,724	18.039,923	190,199	C	8402,56	DX	2,50
15	18.039,923	18.365,671	325,749	AF	1654,43		
16	18.365,671	18.641,925	276,254	AF	1654,43		
17	18.641,925	19.693,840	1051,915	C	9908,00	SX	2,50
18	19.693,840	19.920,860	227,021	AT	1499,77		
19	19.920,860	20.795,734	874,874	R			
20	20.795,734	20.938,611	142,877	AT	1000,21		
21	20.938,611	21.039,521	100,910	C	7002,00	DX	2,50
22	21.039,521	21.182,398	142,877	AT	1000,21		
23	21.182,398	21.422,473	240,075	R			
24	21.422,473	21.495,449	72,976	C	50002,00	DX	2,50
25	21.495,449	22.305,621	810,172	R			

Tabella 4 – Riepilogo caratteristiche planimetriche carreggiata nord

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

4.2 Organizzazione della sezione trasversale

L'ammmodernamento dell'autostrada prevede l'adeguamento della sezione stradale alla categoria A della norma di riferimento DM 05/11/2001.

La sezione tipo stradale prevede una piattaforma di 40.00 metri di larghezza, organizzata in due carreggiate separate il cui margine interno risulta pari a 4.00 m.

Ciascuna carreggiata sarà organizzata in 4 corsie di marcia larghe 3.75 m fiancheggiate in destra dalla corsia di emergenza larga 3.00 m ed in sinistra da una banchina da 0,70 m.

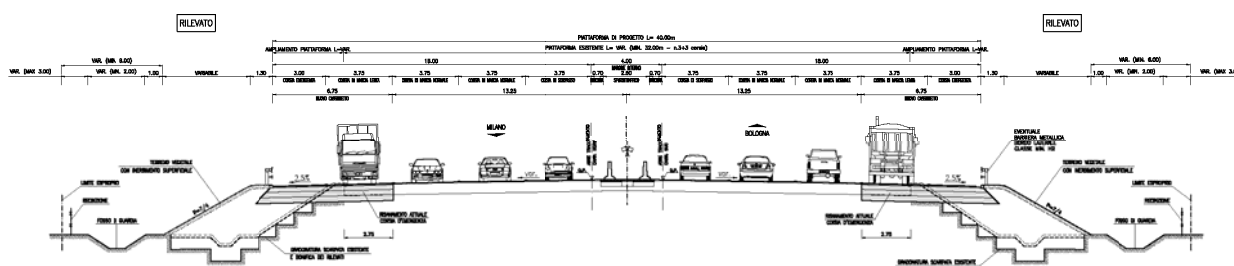


Figura 3 - Sezione tipo di progetto

Nei tratti in rettilineo 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, a meno del tratto della Variante TAV di Lodi Vecchio, la pendenza trasversale esistente viene adeguata a quanto prescritto dalla normativa di riferimento, su tutta la larghezza della piattaforma stradale.

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 4^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'A1 nel tratto in oggetto con riferimento allo scenario di medio-lungo termine 2025-2035, le condizioni di deflusso sono caratterizzate, nelle fasce orarie diurne del giorno feriali invernali, da un livello di servizio medio pari a LOS C con livelli da tipo D a tipo F nelle ore di punta della mattina in carreggiata nord e nelle ore di punta della sera in carreggiata sud.

Nell'ipotesi di non intervento l'infrastruttura nel medio e lungo periodo verrebbe pertanto a trovarsi, nelle ore di punta, in situazioni di congestione (da LOS D a LOS F) caratterizzate da condizioni di flusso instabile, nelle quali la velocità si riduce rapidamente in funzione della crescita del numero di veicoli presenti, con formazione di code anche per piccoli incidenti e con una richiesta di attenzione molto elevata da parte dei guidatori.

Nello scenario progettuale di medio-lungo termine 2025-2035, le condizioni di deflusso sono stabili e scorrevoli (LOS medio pari a B) con tratti che raggiungono il LOS C/D solo nelle ore di punta della mattina e della sera rispettivamente in carreggiata nord e 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);
- Innalzamento dei raggi di curvatura;
- 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 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 e innalzamento pendenze trasversali

La geometria del tracciato esistente, costituito da lunghi rettilineo e curve ad ampio raggio, garantisce già oggi caratteristiche prestazionali (in termini di congruenza delle variazioni di velocità tra un elemento e l'altro del tracciato e velocità limite allo sbandamento in curva) adeguate a quanto previsto per l'infrastruttura di progetto.

Per le curve circolari di raggio $R = 2400\text{m}$ e 2500m , il progetto definitivo prevede comunque 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):

Raggio [m]	Esistente		Progetto	
	ic nord	ic sud	ic nord	ic sud
2400	1.89	1.65	3.91	3.90
2500	3.12	3.48	3.80	3.81

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 4) 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.

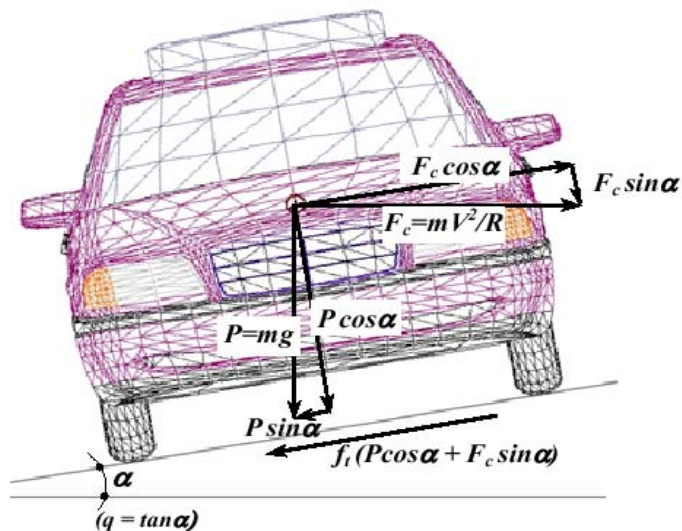


Figura 4 – Equilibrio del veicolo in curva

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.

5.1.2.3 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.

Per un maggiore dettaglio si rimanda alla relazione tecnica stradale.

5.1.3 Barriere di sicurezza

Il progetto definitivo prevede la sostituzione delle barriere esistenti con 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). Fanno eccezione i tratti dove è stato previsto il mantenimento dello spartitraffico esistente, in

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)

corrispondenza della barriera di Milano Sud (dalla progr. km 8+668 alla progr km 9+254) e in affiancamento alla TAV tra le progressive km 17+716 e km 21+176.

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.

5.1.4 Pavimentazioni

Il progetto definitivo prevede nel tratto in oggetto il rifacimento del manto di usura drenante per tutta la larghezza della piattaforma. La sostituzione dell'attuale usura drenante che, a seguito del possibile intasamento dei vuoti (causa polveri di gomma e materiale di sgranamento dello strato medesimo), potrebbe non svolgere più in maniera efficace la propria funzione, consentirà di ripristinare a pieno le caratteristiche proprie di questo tipo di pavimentazione, che consente di realizzare un miglioramento in termini di sicurezza stradale in quanto questa permette di ridurre l'altezza del velo idrico in condizione di precipitazione, 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.

5.1.5 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.).

La sostituzione 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

Un'ulteriore spunto di riflessione per la valutazione del livello di sicurezza dell'infrastruttura in oggetto, è rappresentato dall'analisi di incidentalità condotta sull'intero tratto di Autostrada A1 tra l'allacciamento alla Tangenziale Ovest e lo svincolo di Lodi, 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 C.

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 1999 – 2007.

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 0,450 incidenti/10⁶ veicoli x km.

L'analisi condotta sul tratto autostradale in oggetto ha portato ai risultati sintetizzati in Tabella 8 - Tabella 9 ed in Tabella 10 - 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 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	Ovest	Est
1999	31'798	43'339
2000	32'538	44'370
2001	34'029	46'601
2002	34'824	47'636
2003	36'057	49'236
2004	36'222	48'998
2005	36'338	49'832
2006	37'732	51'540
2007	38'924	53'443

Tabella 5 - dati di traffico_tratto Allacciamento Tangenziale Ovest - Milano Sud

Anno	Ovest	Est
1999	34'097	33'516
2000	34'889	34'307
2001	36'492	36'035
2002	37'346	36'832
2003	38'659	38'061
2004	38'831	37'876
2005	38'955	38'508
2006	40'452	39'836
2007	41'732	41'307

Tabella 6 - dati di traffico_tratto Milano Sud - Lodi

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 7).

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

5.2.1.1 Risultati dell'analisi di incidentalità

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 nelle Tabelle 5-6 per la carreggiata Sud e nelle tabelle 7-8 per la carreggiata Nord con riferimento alle sottotratte Allacciamento Tangenziale Ovest - Milano Sud e Milano Sud - Lodi.

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)
5	5.00	5.99	51	116'238'718	0.439	0.343	0.557	M
6	6.00	6.99	40	116'238'718	0.344	0.343	0.557	M
7	7.00	7.99	56	116'238'718	0.482	0.343	0.557	M
8	8.00	8.99	58	116'238'718	0.499	0.343	0.557	M
TOT.	5.00	8.99	205	464'954'870	0.441	0.398	0.502	M

Tabella 8 – Risultati analisi incidentale_carreggiata SUD_tratto Allacciamento Tangenziale Ovest - Milano Sud

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	57	124'630'912	0.457	0.347	0.553	M
10	10.00	10.99	26	124'630'912	0.209	0.347	0.553	B
11	11.00	11.99	36	124'630'912	0.289	0.347	0.553	B
12	12.00	12.99	27	124'630'912	0.217	0.347	0.553	B
13	13.00	13.99	27	124'630'912	0.217	0.347	0.553	B
14	14.00	14.99	31	124'630'912	0.249	0.347	0.553	B
15	15.00	15.99	49	124'630'912	0.393	0.347	0.553	M
16	16.00	16.99	32	124'630'912	0.257	0.347	0.553	B
17	17.00	17.99	30	124'630'912	0.241	0.347	0.553	B
18	18.00	18.99	42	124'630'912	0.337	0.347	0.553	B
19	19.00	19.99	39	124'630'912	0.313	0.347	0.553	B
20	20.00	20.99	46	124'630'912	0.369	0.347	0.553	M
21	21.00	21.99	39	124'630'912	0.313	0.347	0.553	B
22	22.00	22.99	52	124'630'912	0.417	0.347	0.553	M
23	23.00	23.99	5	124'630'912	0.040	0.347	0.553	B

TOT	9.00	23.99	538	1'869'463'681	0.288	0.424	0.476	B
TOT	5.00	23.99	743	2'334'418'551	0.318	0.427	0.473	B

Tabella 9 – Risultati analisi incidentale_carreggiata SUD_tratto Milano Sud - Lodi

Fascia km	Pr_in	Pr_fin	Incidenti	km percorsi	Ti	Tinf	Tsup	Livello Inc.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
5	5.00	5.99	51	158'773'679	0.321	0.359	0.541	B
6	6.00	6.99	43	158'773'679	0.271	0.359	0.541	B
7	7.00	7.99	37	158'773'679	0.233	0.359	0.541	B
8	8.00	8.99	54	158'773'679	0.340	0.359	0.541	B
TOT.	5.00	8.99	185	635'094'716	0.291	0.405	0.495	B

Tabella 10 – Risultati analisi incidentale_carreggiata NORD_tratto Allacciamento Tangenziale Ovest - Milano Sud

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	48	122'741'503	0.391	0.346	0.554	M
10	10.00	10.99	29	122'741'503	0.236	0.346	0.554	B
11	11.00	11.99	47	122'741'503	0.383	0.346	0.554	M
12	12.00	12.99	34	122'741'503	0.277	0.346	0.554	B
13	13.00	13.99	31	122'741'503	0.253	0.346	0.554	B
14	14.00	14.99	38	122'741'503	0.310	0.346	0.554	B
15	15.00	15.99	51	122'741'503	0.416	0.346	0.554	M
16	16.00	16.99	31	122'741'503	0.253	0.346	0.554	B
17	17.00	17.99	27	122'741'503	0.220	0.346	0.554	B
18	18.00	18.99	57	122'741'503	0.464	0.346	0.554	M
19	19.00	19.99	42	122'741'503	0.342	0.346	0.554	B
20	20.00	20.99	40	122'741'503	0.326	0.346	0.554	B
21	21.00	21.99	29	122'741'503	0.236	0.346	0.554	B
22	22.00	22.99	57	122'741'503	0.464	0.346	0.554	M
23	23.00	23.99	11	122'741'503	0.090	0.346	0.554	B
TOT	9.00	23.99	572	1'841'122'549	0.311	0.424	0.476	B
TOT.	5.00	23.99	757	2'476'217'265	0.306	0.428	0.472	B

Tabella 11 – Risultati analisi incidentale_carreggiata NORD_tratto Milano Sud - Lodi

Come evidenziato nelle tabelle, nel periodo di osservazione, di durata 9 anni, si sono verificati complessivamente 1500 incidenti con una lieve prevalenza per la carreggiata nord (757 incidenti contro 743 in carreggiata sud) , prevalenza che deve essere però considerata non significativa da un punto di vista statistico.

In termini di livelli incidentali entrambe le carreggiate risultano caratterizzate da un livello medio-basso.

Con riferimento all'analisi in termini di frequenza incidentale, in Tabella 12 si riportano i risultati espressi come numero di incidenti per fascia chilometrica. La suddivisione è stata effettuata con riferimento alle soglie di Tabella 7.

Carreggiata sud									Fascia km	Carreggiata nord									
anno 1999	anno 2000	anno 2001	anno 2002	anno 2003	anno 2004	anno 2005	anno 2006	anno 2007		anno 1999	anno 2000	anno 2001	anno 2002	anno 2003	anno 2004	anno 2005	anno 2006	anno 2007	
3	7	6	3	8	8	6	5	5	5	7	3	3	9	7	6	6	5	5	
3	3	8	7	7	4	0	2	6	6	1	4	3	3	8	6	7	4	7	
9	4	10	8	8	10	2	4	1	7	2	2	1	6	5	7	4	6	4	
4	10	16	3	4	6	1	9	5	8	3	8	7	4	10	4	5	7	6	
9	2	7	5	6	8	6	7	7	9	5	8	5	2	4	3	7	6	8	
4	2	6	5	0	2	3	3	1	10	6	3	3	4	0	1	4	6	2	
6	4	4	8	1	3	2	5	3	11	9	3	2	6	4	6	4	6	7	
2	3	6	2	2	8	0	1	3	12	1	3	5	6	5	3	3	3	5	
3	3	5	5	3	4	0	2	2	13	9	4	2	1	3	5	3	3	1	
5	4	3	5	5	3	1	2	3	14	8	5	1	5	2	2	5	8	2	
12	4	7	3	4	8	1	4	6	15	6	5	7	8	7	4	6	6	2	
3	3	5	6	4	3	0	6	2	16	2	4	2	7	2	8	2	2	2	
3	3	5	5	5	1	3	4	1	17	4	4	2	4	4	3	2	3	1	
7	4	14	3	3	2	3	4	2	18	6	8	9	14	8	3	5	3	1	
9	6	6	2	5	4	4	2	1	19	8	6	4	5	4	8	4	1	2	
5	6	12	5	1	9	0	5	3	20	7	6	4	7	6	3	3	3	1	
7	1	4	6	5	6	5	1	4	21	4	3	2	6	3	4	1	2	4	
7	4	5	6	7	5	9	4	5	22	4	8	11	8	4	7	6	3	6	
1	1	0	0	2	0	0	1	0	23	1	2	1	2	1	2	0	0	2	
102	74	129	87	80	94	46	71	60		93	89	74	107	87	85	77	77	68	
743									1'500										757
49.5%																			50.5%

Tabella 12 – Numero Incidenti per fascia chilometrica

L'analisi quantitativa espressa in termini di livelli incidentali e di frequenza, mostra che il tratto in oggetto risulta caratterizzato da medio-bassa incidentalità, con una lieve presenza di punti in cui si verifica il superamento della soglia di controllo ma senza che si verifichi mai il raggiungimento della soglia di attenzione.

Per quanto riguarda l'evoluzione temporale dei fenomeni incidentali nel tratto in oggetto, come evidenziato in Figura 5, pur mantenendosi il numero di incidenti costantemente al di sopra dei valori medi della rete gestita da Autostrade per l'Italia, si è riscontrata una diminuzione di questi rispetto ai primi anni del periodo di analisi mostrando quindi una tendenza, soprattutto a partire dal 2004, ad adeguarsi al trend di rete.

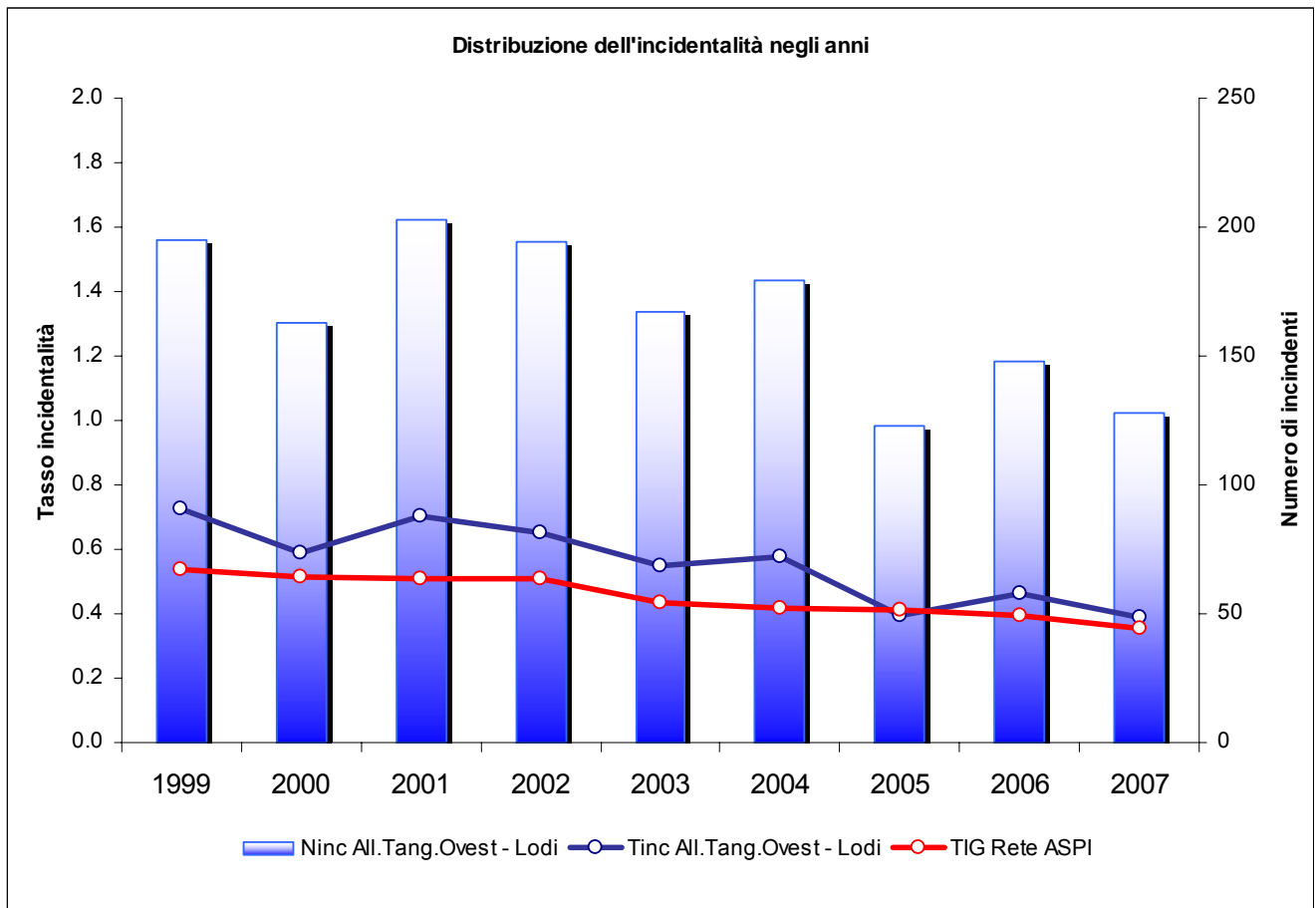


Figura 5 – Evoluzione dell'incidentalità

Un ulteriore spunto di analisi è rappresentato dal diagramma mostrato in Figura 6 da cui si evince che 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 rettilineo può produrre fenomeni di scarsa attenzione o colpi di sonno.

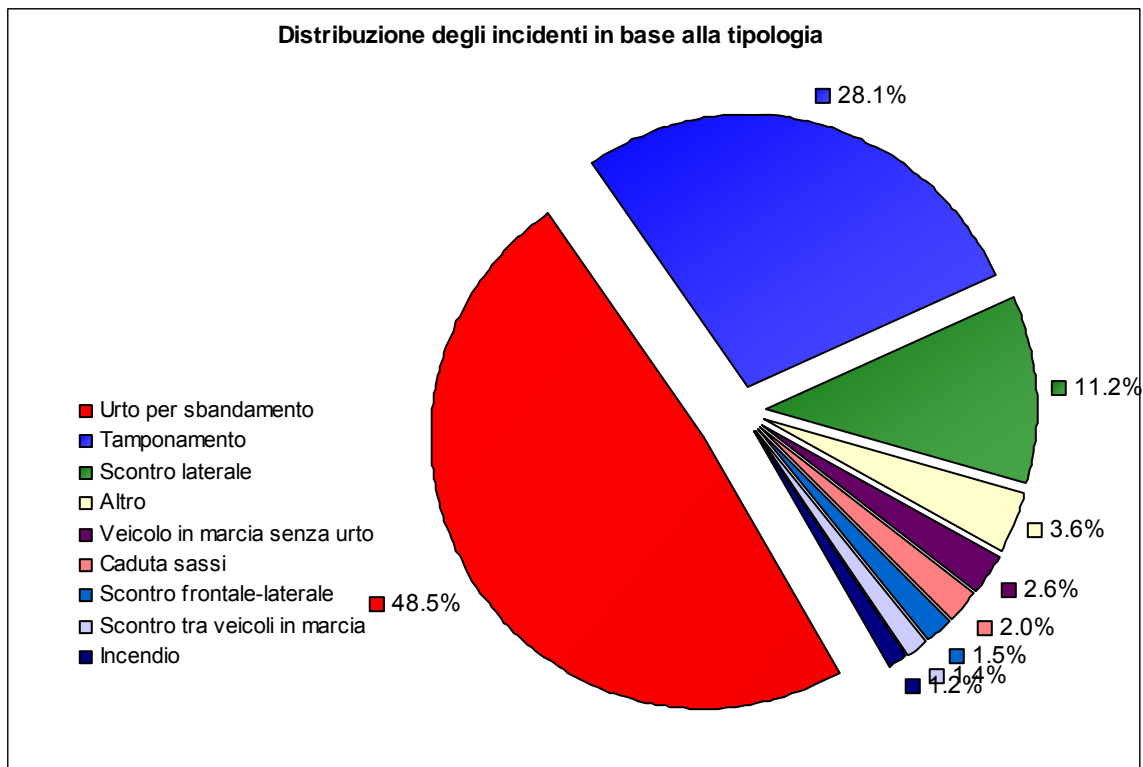


Figura 6 – Incidenti per tipologia d'urto

5.2.2 Descrizione degli miglioramenti introdotti in progetto

L'infrastruttura in oggetto presenta già nella configurazione esistente livelli medio-bassi di incidentalità. Tuttavia si riporta di seguito la descrizione sintetica degli interventi per i quali è lecito attendersi una positiva incidenza sulla riduzione delle cause che provocano l'insorgenza di fenomeni incidentali:

- inserimento di curve a raggio variabile (raccordi clotoidici) e adeguamento del parametro A;
- adeguamento delle corsie specializzate di immissione e diversione;
- innalzamento delle pendenze trasversali in curva;
- rinnovo della pavimentazione drenante;
- rinnovo della segnaletica orizzontale e verticale;
- significativo miglioramento dei Livelli di Servizio;
- adeguamento delle corsie specializzate di immissione e diversione.

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 associate a livelli di servizio più elevati, caratterizzati anche nelle ore di punta da traffico ancora scorrevole con condizionamenti reciproci tra veicoli limitati, confort di guida elevati e carichi di lavoro (workload) non critici;
- Adeguamento delle corsie specializzate di immissione e diversione;
- Interposizione tra due elementi a raggio costante (curve circolari, ovvero rettilineo e curva circolare) di curve a raggio variabile (raccordi clotoidici);
- Pendenze trasversali più elevate, a parità di raggio, rispetto a quelle esistenti;
- 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 7, 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.

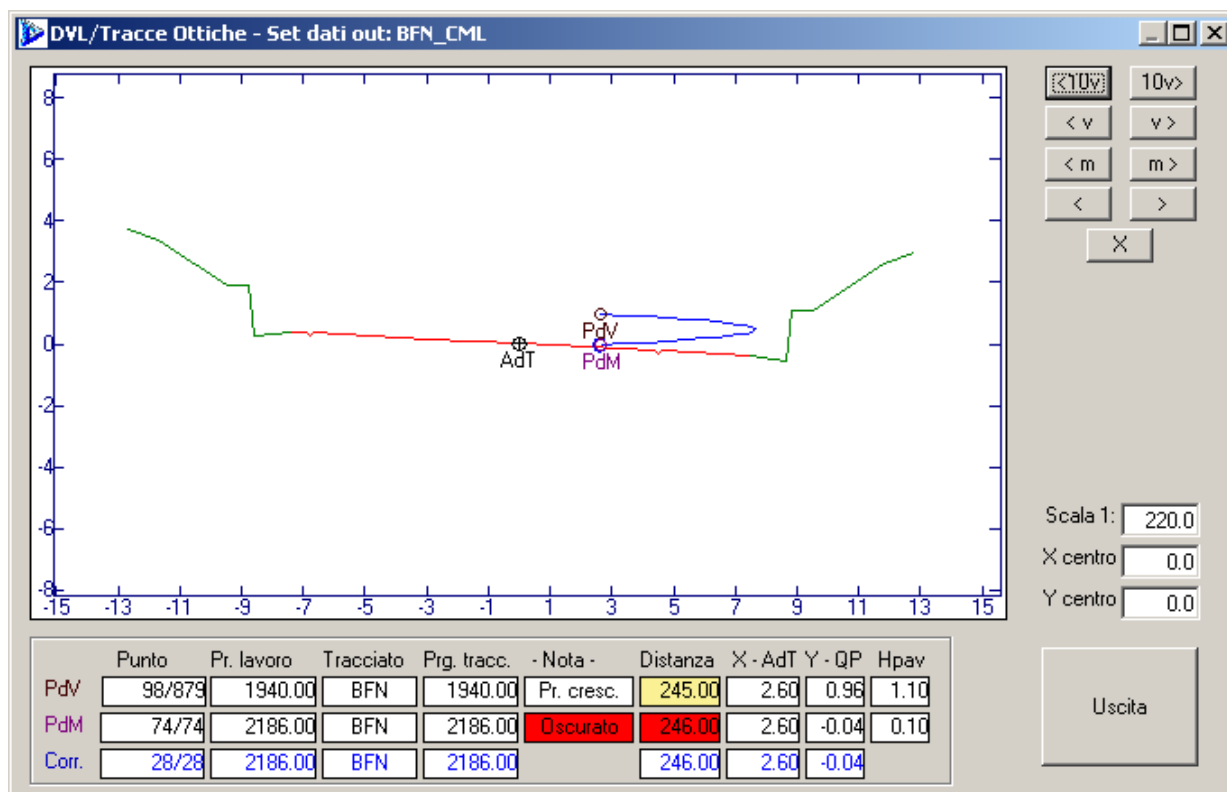


Figura 7 - Esempio di diagramma per il calcolo della distanza di visuale libera

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 13. 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 13 - 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 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:

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

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

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 14.

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 14: schema per la definizione del livello di incidentalità