Ricerca & Progettazione stradale

Sicurezza predittiva in autostrada: il caso **Sant'Alessandro**

Al TRA2026 Milano Serravalle Engineering ha presentato l'applicazione del metodo predittivo dell'Highway Safety Manual a un caso reale

Fabrizio Parati

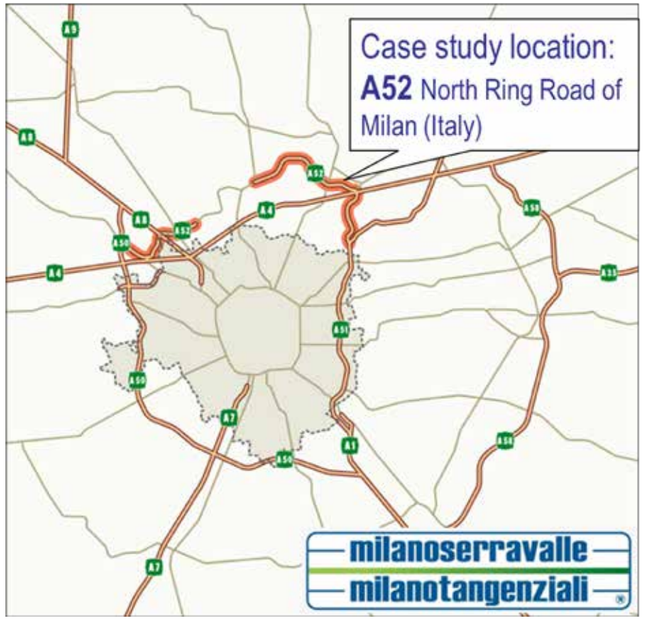
Per Milano Serravalle Engineering, la società di progettazione, direzione lavori e ispezioni che opera per conto della Concessionaria Milano Serravalle - Milano Tangenziali, la partecipazione alla Transport Research Arena 2026 ha segnato il passaggio di una soglia: il debutto davanti alla platea internazionale della ricerca sui trasporti.
«Questo è uno dei primi paper che presentiamo per descrivere l'output di ricerca che abbiamo sviluppato nell'ambito della nostra attività di progettazione», racconta il dott. Carlo Vaghi, Direttore Generale di Milano Serravalle Engineering. E prosegue: «Partecipiamo a studi di impatto ambientale, a studi sulla sicurezza stradale che comprendono analisi di incidentalità e analisi costi-benefici: questa volta il caso, particolarmente elaborato, si è rivelato interessante anche ai fini scientifici».
Il paper, firmato dall'ing. Damiano de Gennaro, dal dott. Carlo Vaghi, dall'ing. Marianna Tomasin e dall'ing. Mario Brugnoli, si intitola "Integrating the Safe System Approach in Early Design Stages: Application of the HSM Predictive Method to the Sant'Alessandro Tunnel" ed è stato presentato al TRA 2026, dopo il previsto processo di peer review e che sarà pubblicato nei Proceedings entro fine anno.

Il caso concreto

La nuova galleria Sant'Alessandro, a Monza, lungo la A52, la Tangenziale Nord di Milano, in concessione a Milano Serravalle - Milano Tangenziali (MSMT) è il caso concreto. Il progetto, che punta a risolvere le interferenze di traffico all'imbocco dell'esistente galleria San Rocco, è ora alla vigilia della Conferenza dei Servizi, dove i risultati dello studio saranno presentati anche al pubblico e alle amministrazioni comunali coinvolte nel procedimento di VIA.

Il nodo di San Rocco

All'origine dell'intervento c'è una richiesta precisa della Concessionaria: realizzare una rampa di collegamento diretto tra l'uscita "A4-Monza" e la A52 in direzione ovest. L'obiettivo: eliminare un punto di conflitto proprio all'imbocco dell'esistente galleria San Rocco, a sud del nuovo tunnel, dove i veicoli provenienti dalla A4 in direzione ovest devono oggi dare la precedenza al traffico di una rampa locale in uno spazio molto ridotto, prima di immettersi sulla carreggiata principale della A52.
Un beneficio che potrebbe apparire secondario, ma che non è per nulla trascurabile (come si vedrà), è la riduzione del traffico giornaliero medio (TGM) che attraversa la galleria San Rocco esistente.



Il tratto della A52 Tangenziale Nord di Milano evidenziato in rosso indica la localizzazione del caso studio: il nodo tra la A52 e la A4 nei pressi di Monza, dove si inserisce il progetto della nuova galleria Sant'Alessandro.

Veduta aerea del corridoio della A52 Tangenziale Nord nei pressi di Monza. Il tracciato autostradale attraversa un contesto urbano e periurbano denso - residenze, insediamenti produttivi e il fiume Lambro - che definisce i vincoli progettuali entro cui si inserisce il progetto della nuova galleria Sant'Alessandro.

Un metodo nato altrove, calato in autostrada

Il cuore tecnico del lavoro è l'Highway Safety Manual (HSM), il metodo predittivo elaborato negli Stati Uniti da AASHTO a partire dal 2010 e da allora diffuso anche in ambito europeo. «L'applicazione nasce dagli ambiti universitari», spiega l'ing. Damiano de Gennaro, in forza all'Area Progettazione di Milano Serravalle Engineering. «Avevo già sviluppato casi simili negli studi sulla sicurezza, e ho suggerito di estendere questo approccio anche a un nuovo tracciato, soprattutto nelle prime fasi di progettazione: in Italia siamo abituati ad applicare queste valutazioni nel progetto esecutivo o a fine lavori, per verificare se l'infrastruttura migliora o peggiora lo standard di sicurezza della rete».
Per stimare la frequenza di incidente atteso nelle due gallerie, gli autori del paper hanno applicato il modello sviluppato nel 2004 dall'Ufficio svizzero per la prevenzione degli incidenti (UPI/BFU) sulla base dell'analisi degli incidenti nella rete delle gallerie autostradali elvetiche. Secondo quanto riportato nel paper, il modello individua come variabili indipendenti statisticamente significative la lunghezza del tunnel, il traffico giornaliero medio, il numero di canne della galleria, la percentuale di veicoli pesanti e la larghezza della banchina destra. «Le applicazioni dell'HSM necessitano di un'opportuna calibrazione locale», sottolinea de Gennaro, «perché i modelli sono sviluppati in altre nazioni su condizioni di base che spesso non rappresentano lo status quo reale». Per l'Italia, gli autori hanno utilizzato la calibrazione elaborata in un lavoro del 2012 su 52 gallerie della rete TERN (Trans European Road Network), che ha individuato un fattore di calibrazione C = 0,939, con una buona accuratezza predittiva e solo tre casi su 52 risultati outlier. Per alimentare il modello, il team ha utilizzato gli incidenti registrati dalla Concessionaria sull'intera

L'imbocco della galleria San Rocco sulla A52 Tangenziale Nord di Milano, nei pressi di Monza. È proprio in questo nodo - dove i veicoli provenienti dalla A4 devono oggi inserirsi cedendo la precedenza al traffico locale - che la nuova galleria Sant'Alessandro, al centro dello studio presentato da Milano Serravalle Engineering al TRA 2026, andrà a eliminare il punto di conflitto.

rete, tra il 2012 e il 2022 (con il 2020 escluso a causa delle limitazioni alla circolazione dovute al Covid-19), e i dati di traffico raccolti da MSMT nel 2024 sull'intero anello della tangenziale. Il paper riporta inoltre, separatamente, i tassi di crescita del traffico stimati per il periodo 2030-2040: per i veicoli pesanti, +0,30% annuo, tra il 2030 e il 2034, e +1,10% annuo, tra il 2035 e il 2040; per le altre categorie di veicoli, +0,50% annuo nel primo periodo e +0,30% nel secondo. Sul fronte normativo, l'Italia resta indietro: «Ci sono primi concetti che ritroviamo nell'HSM già nel D.M. 2001», osserva de Gennaro, «ma non si è mai dato seguito a un aggiornamento normativo. Per i progettisti c'è un extra step da fare: non basta essere compliant con la norma, bisogna guardare oltre». Un'osservazione condivisa dall'ing. Marianna Tomasin, che ricorda come «il punto di partenza sia sempre lo stato dell'arte, che resta un po' carente e lacuno

Due gallerie a confronto: 2A e 2B

Il caso studio confronta due soluzioni progettuali per la nuova galleria Sant'Alessandro. La Soluzione 2A, quella inizialmente presentata nello studio di impatto ambientale, è composta da un tunnel di circa 400 metri, una sezione in trincea (cut-and-cover) di 70 metri e un ulteriore sezione in galleria di 45 metri.
Il tracciato ricalca via Gentili, la viabilità locale di Monza, preservando gli edifici esistenti ma avvicinandosi alle loro fondazioni.
La Soluzione 2B è, invece, un'unica galleria continua di 499 metri, con andamento meno curvo e un profilo altimetrico "a schiena d'asino", con il punto più alto a metà tracciato, anziché in pendenza costante da un imbocco all'altro come nella 2A. Spostando l'asse più a sud, la Soluzione 2B allontana il tracciato dagli edifici a nord di via Gentili, riduce l'impatto acustico e sull'habitat, evita le interferenze con i sottoservizi della strada comunale e limita le occupazioni necessarie in fase di cantiere. Ha tuttavia un prezzo: richiede l'esproprio e la demolizione di un edificio privato che la Soluzione 2A, invece, preservava - un costo di compensazione che il paper dichiara incluso nell'investimento della Soluzione 2B, che presenta un maggior costo di costruzione di 200 mila euro.

Tabella 1: Confronto sintetico tra le due soluzioni progettuali.

Caratteristica	Soluzione 2A	Soluzione 2B
Andamento planimetrico	Più curvo	Meno curvo
Andamento altimetrico	Non ottimizzato	Ottimizzato (a schiena d'asino)
Lunghezza galleria	400 metri	499 metri (tunnel unico)
Larghezza banchina destra	3 metri	1,50 metri
Impatti sul costruito (rumore, habitat, interferenze)	Maggiori	Minori (ma un edificio espropriato)

Il risultato controintuitivo: non è la curva a fare la differenza

Applicando il modello calibrato a entrambe le soluzioni, su periodi quinquennali dal 2028 (apertura prevista) al 2058 (orizzonte trentennale dell'analisi costi-benefici), il modello restituisce un risultato che ribalta l'intuizione corrente.

Soluzione 2A (prima immagine sotto): il tracciato curvilineo della nuova galleria Sant'Alessandro (circa 400 metri) lungo via Gentili, a Monza.

Soluzione 2B: tracciato rettilineo della nuova galleria Sant'Alessandro,spostato più a sud rispetto alla 2A per ridurre l'impatto sul costruito.

«Effettivamente il tracciato più lineare presentava un incremento dell'incidentalità», racconta de Gennaro, «non legato alla minore tortuosità, ma al fatto che per ridurre gli impatti sul costruito si è ridotta la sezione trasversale del tunnel: la banchina è passata da tre metri a 1,5 metri, e questa è risultata la variabile più significativa». Lo confermano gli stessi autori nel paper: andamento planimetrico e altimetrico non sono risultati variabili statisticamente significative nel modello BFU utilizzato - che non analizza, tra l'altro, l'impatto sul costruito - mentre lo è la larghezza della banchina.

I numeri, mediati sui 30 anni di orizzonte di analisi: rispetto allo scenario di non intervento ("No-Do"), la Soluzione 2A genera un incremento di 0,18 collisioni/anno (scala KABCO - totale di tutte le gravità - di cui 0,15 coll./anno con esito lesivo, classi KABC, e 0,04 coll./anno con soli danni materiali, classe O); la Soluzione 2B un incremento di 0,39 collisioni/anno (0,24 KABC, 0,15 O). I valori per singola gravità, come riportati nello studio, non sommano sempre esattamente al totale dichiarato per effetto degli arrotondamenti. La differenza tra le due soluzioni è di 0,21 collisioni/anno in più per la 2B (di cui +0,09 KABC, +0,11 O) - uno scarto che, anno dopo anno, cresce progressivamente secondo la Tabella 2 del paper: dai +0,17 coll./anno del quinquennio 2028-2032 ai +0,26 coll./anno del 2058, riflettendo la crescita di traffico stimata nel periodo.

In termini di costi sociali - calcolati sulla base dei valori ISTAT 2023, espressi in euro 2018 senza applicazione di tassi di inflazione (1.812.989 euro per ogni decesso entro 30 giorni, 45.210 euro per le lesioni medie, più 12.394 euro di costo sociale di base per ogni incidente) - l'incremento di incidentalità della Soluzione 2A comporta, secondo il paper, un costo sociale aggiuntivo di 8.863,90 euro/anno rispetto al No-Do; quello della Soluzione 2B di 15.660,61 euro/anno.

La Soluzione 2B costa, quindi, 6.796,70 euro/anno in più della 2A, limitatamente agli incidenti nella nuova galleria Sant'Alessandro.

«I risultati dell'analisi costi-benefici sono in linea con le aspettative sintetiche: un tunnel un po' più dritto, un po' meno curvo, è lievemente più incidentale, a fronte di scelte progettuali che hanno determinato benefici molto maggiori», sintetizza Vaghi.

L'effetto domino: meno traffico, più sicurezza alla galleria San Rocco

Il preprint dedica un passaggio specifico all'esistente galleria San Rocco, che non viene modificata da nessuna delle due soluzioni ma beneficia comunque dell'intervento. La nuova bretella, infatti, fa scendere il traffico giornaliero medio sulla San Rocco da 49.569 veicoli/giorno dello scenario No-Do a 44.697 veicoli/giorno in entrambe le soluzioni 2A e 2B: una riduzione del 10,9%, identica nei due casi perché la San Rocco resta invariata, indipendentemente dalla soluzione scelta per la Sant'Alessandro.

Disponendo per la San Rocco di una solida serie storica di incidenti osservati (pari a 6,30 collisioni/anno secondo la scala KABCO) e non essendo previste modifiche alla rete in quegli anni, gli autori del paper hanno potuto applicare un Crash Modification Factor basato sulla sola variazione di traffico atteso, calcolato come rapporto tra il TGM di progetto e quello dello scenario No-Do elevato a un coefficiente beta = 1,61 (il coefficiente beta adoperato per il CMF della San Rocco è estratto dalla SPF del modello del BFU usato anche per la Galleria Sant'Alessandro). Applicando la formula indicata, il risultato è una frequenza di incidente attesa di 5,33 collisioni/anno, 0,97 in meno rispetto al No-Do: un beneficio di 19.611,14 euro/anno sui costi sociali degli incidenti, che si aggiunge, in segno opposto, ai costi generati dalla nuova galleria Sant'Alessandro.

Normativa italiana: cosa manca

In Italia non esiste un obbligo di applicare modelli predittivi di incidentalità come l'HSM in fase di progettazione: il D.M. 2001 sulle norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade, citato anche nel paper di de Gennaro et al., non è mai stato aggiornato in tal senso. Il principale intervento normativo recente sulla sicurezza stradale, il D.Lgs. 15 novembre 2021, n. 213 (in vigore dal 31 dicembre 2021, di recepimento della direttiva UE 2019/1936), ha rafforzato il D.Lgs. 35/2011 estendendone il campo di applicazione - dal 1° gennaio 2025 anche ad altre strade della rete di interesse nazionale - e sostituendo la classificazione dei tratti ad alta incidentalità con una valutazione della sicurezza a livello di rete. Si tratta tuttavia di un impianto procedurale (controlli, ispezioni, classificazione del rischio), non di un obbligo di modellazione predittiva in fase di progettazione. Lo stesso decreto esclude inoltre le gallerie soggette al D.Lgs. 264/2006, che fissa requisiti minimi di sicurezza - ventilazione, vie di fuga, impianti antincendio - per le gallerie della rete transeuropea superiori a 500 metri: una soglia che, va detto, nessuna delle due soluzioni progettuali della Sant'Alessandro (400 e 499 metri) supererebbe comunque. L'adozione di un metodo predittivo come l'HSM resta quindi, in Italia, una scelta volontaria del singolo progettista o concessionario, non un obbligo di legge

Cos'è il TRA

La Transport Research Arena (TRA) è la più grande conferenza europea dedicata alla ricerca e all'innovazione nei trasporti, organizzata ogni due anni dalla Commissione Europea (Direzioni Generali Move e RTD) insieme agli stakeholder del settore e a un Paese ospitante. L'edizione 2026 si è svolta a Budapest dal 18 al 21 maggio, con un'area espositiva di 30.000 metri quadrati, sessioni plenarie e tecniche su sicurezza, decarbonizzazione, pianificazione delle reti e digitalizzazione dei trasporti, e il TRA Visions Young Researchers Award per i ricercatori under 35

A lato, da sinistra, il dott. Carlo Vaghi, Direttore Generale di Milano Serravalle Engineering.

L'ing. Damiano de Gennaro, Responsabile Progettazione Stradale di Milano Serravalle Engineering.

L'analisi costi-benefici: la Soluzione 2B prevale

Nell'analisi costi-benefici, sviluppata secondo le linee guida europee (EU CBA Guide) e quelle nazionali del MIMS per le opere stradali, su un orizzonte di trent'anni la Soluzione 2A raggiunge un VAN (valore attuale netto) di 49,508 milioni di euro, mentre la Soluzione 2B di 51,681 milioni di euro. Nel computo complessivo della CBA, il paper indica che la componente "incidenti" pesa per 4,332 milioni di euro nella Soluzione 2A e per 4,208 milioni nella Soluzione 2B.

Resta netta la conclusione esposta dagli autori: il maggiore impatto da incidentalità attribuito alla Soluzione 2B sulla Sant'Alessandro e i 200 mila euro di costi di costruzione più elevati sono, a loro giudizio, ampiamente compensati dal minore impatto sull'habitat, il che rende la Soluzione 2B preferibile rispetto alla 2A originariamente proposta.

Il vero collo di bottiglia: i dati di incidentalità

Una parte sostanziale del lavoro è stata dedicata alla qualità dei dati: la base utilizzata copre gli 11 anni dal 2012 al 2022, con il 2020 escluso a causa delle limitazioni alla circolazione legate al Covid-19. «I dati a disposizione erano un database abbastanza variegato», spiega de Gennaro, «con una completezza migliore solo negli anni più recenti. Una delle criticità maggiori era l'assenza, molto spesso, della descrizione della dinamica dell'incidente, necessaria per classificarne correttamente la tipologia». Per ovviare al problema, si sono incrociate le schede danni dei veicoli con i dati di intervento della Concessionaria: «se si notava la riparazione di un guardrail o la chiusura di una corsia di emergenza, si 'battezzava' quell'incidente come una fuoriuscita con impatto sulla barriera».

Anche la localizzazione ha richiesto attenzione: «abbiamo proposto alla Concessionaria di utilizzare le coordinate GPS al posto della chilometrica», racconta de Gennaro, «perché quando la polizia rileva un incidente lo assegna a una chilometrica, e in fase di mappatura si formano cluster di incidenti tutti localizzati nello stesso punto, anche se in realtà sono legati a dinamiche diverse: un'immissione da rampa piuttosto che un evento sull'asse principale».

Sul tema dell'accesso ai dati, il dott. Vaghi aggiunge una considerazione di sistema: «Talvolta è più semplice analizzare gli incidenti sulla viabilità comunale che su quella autostradale, perché il Comune ha la Polizia Locale e una granularità di rilevazione che a scala micro rende più agevole l'analisi».

Anche l'accesso alle banche dati nazionali resta un nodo: «A livello accademico si possono realizzare accordi con chi gestisce la banca dati Istat, ma a livello commerciale è più difficile», osserva de Gennaro. «All'estero le banche dati di inciden-

L'ing. Marianna Tomasin, Coordinatore e Responsabile Area Progettazione di Milano Serravalle Engineering.

L'ing. Mario Brugnoli, Direttore Tecnico di Milano Serravalle Engineering.

talità, al netto dei dati sensibili, sono disponibili a chiunque: è uno dei limiti italiani».

Dalla compliance normativa alla sicurezza predittiva

Il filo conduttore del paper è il passaggio da un approccio di mera conformità normativa a uno di sicurezza predittiva, in linea con il "Safe System Approach" e l'obiettivo europeo del quasi-azzeramento delle vittime della strada.

«Il Safe System deve indirizzare la soluzione migliore quando si tratta di scelte», spiega Vaghi, ricordando che tra le Soluzioni 2A e 2B la differenza è minima sia nel raggio di curvatura sia nell'estensione della galleria.

«A livello generale, il Safe System deve essere perseguito quotidianamente non solo nella progettazione compiuta di interventi macro come questo nuovo tunnel, ma anche nella progettazione di ogni punto singolare, di ogni intersezione tra traffico e infrastruttura sull'autostrada. È un tema su cui Milano Serravalle Engineering è molto impegnata».

Resta il nodo dei tempi di approvazione. «In Italia siamo già a livello di saturazione del processo di controllo, validazione e verifica», osserva Vaghi. «Un verificatore che non controlli se è stata fatta correttamente un'analisi di incidentalità non farebbe bene il suo mestiere - e di solito, invece, lo fa fin troppo bene.

Il drawback è che questo processo, pur con lo riduzione delle fasi di progettazione da tre a due introdotto dal nuovo Codice dei contratti, rende i tempi molto lunghi».

Un primo passo, non un punto di arrivo

Già nell'abstract del preprint gli autori chiariscono che i risultati, per quanto promettenti, sono "only applicable to the specific case" (validi solo per il caso specifico) e non automaticamente generalizzabili. Un caveat che le conclusioni vere e proprie ribadiscono parlando di un caso di studio "site-specific". Le stime ottenute con il modello predittivo, scrivono gli autori del paper, possono contribuire efficacemente all'analisi costi-benefici dei progetti di gallerie, offrendo strumenti utili a quantificare la differenza tra i costi sociali degli incidenti delle diverse soluzioni. I modelli sviluppati in altri Paesi europei possono essere trasferiti ad altri contesti con un'adeguata calibrazione, ma l'applicazione del metodo a casi con caratteristiche specifiche e fabbisogni territoriali propri può, secondo gli autori, non essere trasferibile ad altri casi. Tra gli sviluppi futuri indicati nel paper: lo sviluppo di Safety Performance Function nazionali o sito-specifiche, l'applicazione al caso di altri modelli sviluppati per il contesto italiano, in particolare quello per le gallerie autostradali proposto da Caliendo, Guglielmo e Guida nel 2013, e l'estensione del framework metodologico alla valutazione di altre componenti della rete, fin dalle primissime fasi di un progetto. Per Milano Serravalle Engineering, il paper presentato al TRA 2026 è solo l'inizio: «Non è conclusa qui la partita del caso specifico», conclude Carlo Vaghi, «e la stessa tematica che ha ispirato questo nostro lavoro sarà oggetto di altri paper, anche in consessi extraeuropei».