

Nuove tipologie di guard-rail lungo la A22

Caratteristiche innovative delle barriere di sicurezza stradale in grado di assorbire l'energia cinetica di veicoli leggeri e pesanti. Per garantire i diversi livelli di contenimento necessari lungo un asse viario si effettuano verifiche di tipo prestazionale, tramite crash test e simulazioni al computer.

Konrad Bergmeister, Andrea Demozzi, Claudia Pifferi, Angelo Villa

Già in sede di costruzione dell'autostrada negli anni 60 il problema del sicurvia venne affrontato in maniera all'epoca innovativa. Ad esempio sui viadotti il sicurvia laterale era fissato su montanti HE80 a distanza media di 1.50 m ed era costituito da una doppia lama in acciaio Cor-Ten rinforzata da una trave triangolare corrente al posto del distanziatore.

La barriera a protezione dello spartitraffico era decisamente superiore al minimo dell'epoca (1968/1974) in quanto costituita da una doppia lama in acciaio Cor-Ten di altezza minima da terra pari a 65/70 cm.

Anche l'uso dell'acciaio autopassivante tipo Cor-Ten oltre agli aneddoti (quante telefonate di chi chiedeva perché Autobrennero montava guard-rail già arrugginiti o a chi offriva vernici speciali per recuperare il guard-rail) rispondeva alla duplice esigenza di aumentare la protezione in ambienti molto aggressivi e di migliorare l'inserimento ambientale.

L'aumento della velocità media dei veicoli ma, soprattutto dell'altezza dei baricentri, ha evidenziato la necessità di un radicale intervento di adeguamento.

Dopo la circolare del 1987, rispettata peraltro dalla maggior parte delle barriere installate in A22, il D.M. 223 del 1992 ha mutato radicalmente l'impostazione del problema trasformandolo da statico in dinamico ed imponendo un'energia minima di contenimento, variabile in funzione della localizzazione della barriera e delle caratteristiche della strada su cui andava montata.

Permaneva però una grave difficoltà di applicazione del decreto per la mancanza di barriere omologate, condizione prevista dallo stesso decreto per la propria operatività.

Inoltre la necessità di affidare l'esecuzione di queste opere per mez-

zo di pubbliche gare impediva di scegliere un determinato tipo di barriera (brevettato dall'una o dall'altra ditta costruttrice) per evitare situazioni di esclusiva e, quindi, l'unica possibilità di discriminazione era fissare l'energia di contenimento ed il conseguente tipo (per le autostrade scelto fra B1, B2 o B3) di barriera.

Ne sarebbe conseguito, a seconda della ditta vincitrice, un proliferare di tipologie diverse, a scapito della gestione (pensiamo ai ricambi), dell'unitarietà di immagine dell'autostrada ed anche a scapito della sicurezza degli utenti in quanto i raccordi fra diversi tipi di barriera rappresentano un elemento di debolezza e di rischio.

Per questo motivo alla fine del 1994 il Consiglio di Amministrazione decise, in considerazione della perdurante incertezza normativa sull'argomento e della necessità comunque urgente di programmare forti investimenti nel settore per migliorare il livello di sicurezza dell'autostrada, di sviluppare un programma di ricerca mirato all'adeguamento dei propri sistemi di sicurezza stradale alle caratteristiche del traffico moderno.

Particolarmente significativo è stato l'incontro con il prof. Vittorio Giavotto del Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale del Politecnico di Milano, che già da anni aveva sviluppato metodi di calcolo ed esperienze concrete nell'ambito dei problemi di crash.

E' significativo che gli ingegneri esperti di strade e quindi ingegneri civili, af-

1





aerei) e quindi la ricerca ha sviluppato sistemi di studio e di simulazione della realtà in ambito dinamico.

Nel 1995 l'Autostrada del Brennero ha incaricato il Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale del Politecnico di Milano di sviluppare un nuovo sistema completo di barriere di sicurezza stradale (guard-rails), in grado di garantire tutti i diversi livelli di contenimento necessari lungo un asse viario di notevole importanza.

Tale attività si è concretizzata prima attraverso la progettazione della barriera e la simulazione degli impatti per mezzo di idonei programmi di calcolo e la successiva verifica sperimentale.

Si sono quindi individuate le principali tipologie e realizzati i primi prototipi in base alla normativa in vigore (D.M. n. 223 del 18.02.1992), attivando nel contempo i primi contatti internazionali con i Laboratori di ricerca sull'argomento.

Nell'attività di progettazione, calcolo e verifica sperimentale mediante crash-tests, si è fatto riferimento alla normativa europea sui sistemi di sicurezza stradale (EN 1317), recentemente recepita anche dalla normativa italiana, come si illustrerà nel corso della relazione.

Caratteristica principale di queste nuove tipologie di guard-rail è la capacità di assorbire l'energia cinetica di veicoli sia

**Konrad Bergmeister,
Andrea Demozi,
Claudia Pifferi,
Angelo Villa,
Autostrada del
Brennero S.p.A.,
Direzione tecnica.**

**1. Autostrada del
Brennero.**

**2. Barriera centrale
in fase di montaggio.**

frontino i problemi dal punto di vista della "statica" e quindi siano tutto sommato scarsamente preparati ad un affronto di tipo dinamico come in realtà sono i problemi di urto dei veicoli contro elementi - come le barriere - destinati a trattenerli minimizzando gli effetti sugli occupanti del veicolo.

Per contro, nell'ambito dell'ingegneria aeronautica è più normale pensare in termini di minimizzazione degli effetti dell'impatto (si pensi al miglioramento dei sistemi di ancoraggio dei sedili degli



leggeri che pesanti, contenendo in modo efficace il veicolo pesante e rallentando con gradualità il veicolo leggero, senza danni importanti per gli occupanti. Si è inoltre realizzato un'escursiva che anche dal punto di vista estetico rappresenta una evoluzione del precedente, garantendo così una continuità percettiva da parte dell'utente nella fase di sostituzione e quindi una percezione di ordine e armonia nel percorrere l'autostrada. È una struttura "trasparente" che non occlude la visibilità soprattutto sui manufatti e anche questo aumenta la gradevolezza del viaggio. Infatti nella tipologia più "pesante" che è la H4b (laterale su manufatti) solo 46 cm su 155 cm di altezza totale sono occupati da lame o correnti permettendo a chi guida una percezione molto buona del paesaggio.

Il piano approvato nel 1994 prevedeva un significativo investimento sui sicurvia.

Nell'ambito di tale programma già nel 1996 si sono eseguite le prime installazioni della tipologia "centrale spartitraffico" - la più urgente -, e nel 1997 si è completata la progettazione di tutte le tipologie che riguardano un'autostrada: oltre alla già citata "centrale spartitraffico", la "laterale su rilevato", "laterale su viadotto", "transizioni", "terminali" e "chiusura varchi" nello spartitraffico. Attualmente è in corso di ultimazione la sostituzione del guard-rail centrale spartitraffico e si è già iniziata la sostituzione, in alcuni tratti importanti, di quello laterale.

IL PROGETTO DELLE BARRIERE DI SICUREZZA STRADALE

Con il D.M. 223/92 e successivi aggiornamenti ed integrazioni il problema barriere di sicurezza per la prima volta viene affrontato da un punto di vista "prestazionale". Le

norme precedenti, infatti, definivano solo caratteristiche "geometriche" dei sistemi di sicurezza in acciaio.

In particolare:

a) la Nota Ministeriale del 30.07.1966 determinava delle caratteristiche dimensionali:

- altezza del bordo inferiore del nastro da terra > 25 cm,
- altezza dell'asse-nastro da terra > 40 e < 50 cm,
- altezza del bordo superiore del nastro da terra > 60 cm,
- altezza del nastro > 30 cm.

In base a tali caratteristiche - adeguatamente potenziate - furono progettate le barriere alla costruzione dell'Autostrada del Brennero.

b) La Circolare del Ministero LL.PP. n. 2337/87 determinava delle caratteristiche di qualità e dimensionali:

- acciaio di qualità > Fe 360, zincato a caldo con una quantità di zinco > 300g/mq,
- nastro: spessore minimo 3 mm, altezza > 300 mm, sviluppo > 475 mm,
- paletti: spessore minimo 5 mm, lunghezza 1,65m per centrale e 1,95m per laterale,
- bordo superiore nastro h > 70cm.

In base a tali criteri è stata impostata la "riqualificazione" negli anni 1990/1993 delle barriere presenti in autostrada.

c) Secondo l'approccio "prestazionale" del D.M. 223/92, invece, la barriera deve verificare determinati obiettivi, certificati mediante crash-tests da eseguirsi presso laboratori autorizzati:

- adeguatezza strutturale della barriera, senza distacco di elementi;
- contenimento del veicolo, senza ribaltamento a scaval-

QUADRO NORMATIVO

Il tema "barriere di sicurezza stradale" è stato affrontato dalla normativa nazionale in modo molto intenso e spesso contraddittorio: basti pensare che dal 1987 sono state emesse almeno 11 disposizioni normative in merito, di cui 9 negli ultimi 7 anni.

In particolare alla data odierna la normativa tecnica di riferimento può essere riassunta come segue:

1. Nota Ministeriale 30.07.1966, Norme tecniche per barriere di sicurezza in metallo.
2. Bollettino Ufficiale del C.N.R. del 28.07.1980, Norme sulle caratteristiche geometriche delle strade extraurbane.
3. Circolare LL.PP. n. 2337 del 10.07.1987, Provvedimenti per la sicurezza stradale. Barriere stradali. Specifica per l'impiego delle barriere in acciaio.
4. D.M. LL.PP. del 04.05.1990, Aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo dei ponti stradali.
5. D.M. LL.PP. n. 223 del 18.02.1992, Regolamento recante istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza.
6. Circolare LL.PP. n. 2595 del 09.06.1995, Barriere stradali di sicurezza. Decreto ministeriale 18 febbraio 1992, n. 223.
7. Circolare LL.PP. n. 2357 del 16.05.1996, Fornitura e posa in opera di beni inerenti la sicurezza della circolazione stradale.
8. D.M. LL.PP. n. 4621 del 15.10.1996, Aggiornamento del decreto ministeriale 18 febbraio 1992, n. 223, recante istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza.
9. Circolare LL.PP. n. 4266 del 15.10.1996, Istituti autorizzati all'esecuzione di prove di impatto in scala reale su barriere stradali di sicurezza.
10. Circolare ANAS n. 17600 del 05.12.1997, Progettazione, omologazione e impiego delle barriere stradali di sicurezza.

11. Circolare ANAS n. 6477 del 27.05.1998, Circolare n. 17600 del 05.12.1997 - Chiarimenti.

12. D.M. LL.PP. del 03.06.1998, Ulteriore aggiornamento delle istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza e delle prescrizioni tecniche per le prove ai fini dell'omologazione.

13. D.M. LL.PP. del 11.06.1999, Integrazioni e modificazioni al decreto ministeriale 3 giugno 1998, recante: "Aggiornamento delle istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza".

Dopo un periodo di incertezza attualmente il quadro normativo si sta finalmente avviando alla definizione in linea con le indicazioni internazionali.

Infatti, gli ultimi aggiornamenti recepiscono in parte il lavoro svolto dal Comitato Tecnico europeo CEN/TC/226 - cui Autostrade partecipa con un proprio rappresentante - e riportano la normativa nazionale in materia di sicurezza stradale agli standard europei (normativa tecnica UNI EN 1317).

Si rileva comunque che le norme del 1992 e di conseguenza i successivi aggiornamenti erano condizionati per l'entrata in vigore alla omologazione di almeno due tipi di barriera per ogni classe, condizione ad oggi ancora non raggiunta.

Per la verità il decreto del giugno 1999 stabilisce una validità delle norme comunque entro 24 mesi dalla propria entrata in vigore (7/8/1999) anche in mancanza della circolare con la quale si stabilisce l'avvenuta omologazione di due tipi per ogni destinazione e classe e quindi in ogni caso la norma diventerà cogente nell'agosto del 2001.

A tale proposito si segnala l'opportunità di una completa identità fra normativa europea ed italiana, nel quadro della identità dei veicoli, delle norme di circolazione e dei mercati che ormai caratterizza la realtà europea, ed anche per superare gli ostacoli ad una compiuta realizzazione del DM 223 a 9 anni dalla sua pubblicazione (18/2/92).



camento;
 • sicurezza per gli occupanti del veicolo;
 • traiettoria di rinvio del veicolo < 1/3 angolo di impatto;
 • spostamento trasversale totale della barriera da valutare in base alla destinazione.

In base a tali specifiche prestazionali l'Autostrada del Brennero ha sviluppato dal 1995 al 1998 un'attività progettuale completa, ottenendo la certificazione presso il Laboratorio L.I.E.R. di Lione in Francia di tutte le tipologie necessarie a coprire i diversi tipi di installazione presenti in autostrada, ed in particolare (vedi - Scheda tecnica): barriera centrale per spartitraffico (H3), barriera laterale da rilevato (H2), barriera laterale da viadotto (H4b), con e senza cordolo, terminali (P4), transizioni (H2 ---> H4b), chiusura varchi (H3).

Le modalità di svolgimento delle prove su scala reale ("crash-tests") sono definite in modo preciso sia dal D.M. citato e dai suoi aggiornamenti che dalla normativa tecnica UNI EN 1317.

Di seguito si descrivono brevemente i parametri che vengono rilevati, con particolari tecniche di misura, durante tali prove, e che definiscono oggettivamente il comportamento della barriera.

Livello di contenimento (Lc)

Rappresenta l'energia cinetica posseduta dal mezzo all'atto dell'impatto, calcolata con riferimento alla componente della velocità ortogonale alle barriere:

$$L_c = \frac{1}{2} M (v \sin\phi)^2 \text{ (kJ)}$$

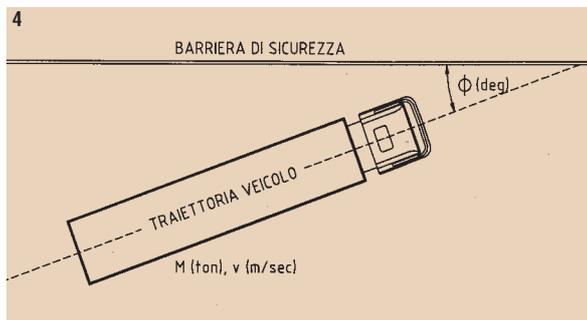
dove:

M = massa del veicolo (ton)

v = velocità di impatto (m/s)

ϕ = angolo di impatto (deg)

In base al livello di contenimento la normativa prevede una classificazione delle barriere:



- classe N1, contenimento minimo
- classe N2, contenimento medio
- classe H1, contenimento normale
- classe H2, contenimento elevato
- classe H3, contenimento elevatissimo
- classe H4, contenimento per tratti ad altissimo rischio

Lc = 44kJ

Lc = 82kJ

Lc = 127kJ

Lc = 288kJ

Lc = 463kJ

Lc = 572kJ

Il livello di contenimento viene verificato usando veicoli diversi, come da Tab. 1.

3. Urto del veicolo pesante contro la chiusura varchi (H2).

4. Livello di contenimento.

TAB. 1 DETERMINAZIONE DEL LIVELLO DI CONTENIMENTO (Lc)

Classe	velocità (km/h)	angolo di impatto (deg)	massa totale (ton)	tipo di veicolo	codifica europea
N1	80	20°	1,5	Autovettura	TB31
N2	110	20°	1,5	Autovettura	TB32
H1	70	15°	10,0	Autocarro	TB42
H2	70	20°	13,0	Autocarro/Bus	TB51
H3	80	20°	16,0	Autocarro	TB61
H4a	65	20°	30,0	Autocarro	TB71
H4b	65	20°	38,0	Autoarticolato	TB81

Fonte: D.M. LL.PP. 3 giugno 1998 e UNI EN 1317

Indice di severità degli impatti (ASI)

Misura la severità dell'urto sugli occupanti delle autovetture considerati seduti con cinture di sicurezza allacciate:

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

dove:

• $\bar{a}_x(t)$, $\bar{a}_y(t)$, e $\bar{a}_z(t)$ sono le componenti dell'accelerazione baricentrica mediate su una scala temporale di 50 millisecondi;

• g è l'accelerazione di gravità (9.81m/s²).

La valutazione dell'ASI deve essere effettuata per tutte le classi (tranne la N1) mediante una prova secondo le specifiche riportate in Tab. 2.

TAB. 2 DETERMINAZIONE DELL'INDICE DI SEVERITA' DEGLI IMPATTI (ASI)

Classe	Velocità (km/h)	Angolo di impatto (deg)	Massa totale (kg)	Tipo di veicolo	Codifica europea
tutte le classi (escluso N1)		100	20°	autovettura	TB11

Fonte: D.M. LL.PP. 3 giugno 1998 e UNI EN 1317

La normativa tecnica UNI EN 1317 consiglia un indice ASI minore o uguale ad 1 (severità "A"), ammettendo comunque un indice ASI fino a 1.4 (severità "B"). Sono inol-

tre dichiarate possibili ulteriori deroghe a tale limite, per zone in cui il contenimento dei veicoli deve essere categorico.

Il D.M. LL.PP. 3 giugno 1998, invece, fissa per tutte le barriere un indice ASI minore o uguale ad 1, ammettendo un indice ASI fino a 1.4 solo per le barriere destinate a punti particolarmente pericolosi.

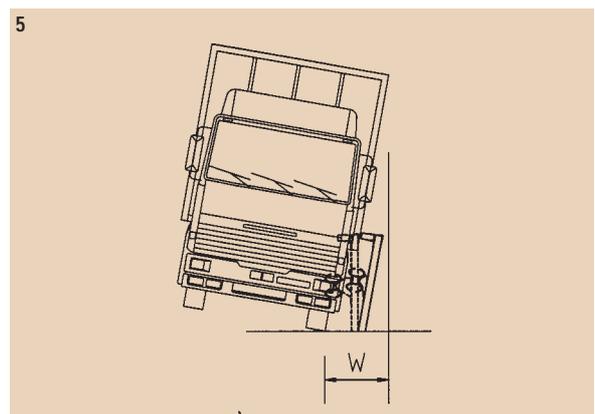
Attualmente l'indice ASI è oggetto di una approfondita discussione in ambito normativo tecnico internazionale; tale indice, infatti, presenta alcuni limiti interpretativi, sia perché necessita di una delicata strumentazione di rilievo a bordo, sia perché semplifica in un unico parametro un evento complesso quale l'urto di un veicolo in svio.

Per questo motivo la normativa europea completa la valutazione della severità dell'urto considerando altri ulteriori quattro parametri: THIV (Theoretical Head Impact Velocity), PHD (Post-impact Head Deceleration), OIV (Occupant Impact Velocity), ORA (Occupant Ride-down Acceleration).

Larghezza utile del sistema (W)

Misura la distanza tra la posizione iniziale del fronte della barriera di sicurezza e la massima posizione dinamica laterale di qualsiasi componente principale del sistema, veicolo compreso.

La normativa prevede una classificazione delle barriere in base al livello di larghezza utile del sistema come da Tab. 3.



TAB. 3 CLASSIFICAZIONE IN BASE AL LIVELLO DI LARGHEZZA UTILE (W)

Classe	livelli di larghezza utile W (m)
W1	≤ 0,6
W2	≤ 0,8
W2	≤ 1,0
W4	≤ 1,3
W5	≤ 1,7
W6	≤ 2,1
W7	≤ 2,5
W8	≤ 3,5

Fonte: D.M. LL.PP. 3 giugno 1998 e European Standard EN1317 (CENTC226/WG1)

Indice di deformazione dell'abitacolo (VCDI)

Codifica i danni subiti dal veicolo, mediante un codice che indica la posizione del danno (fronte/retro, destro/sinistro) e la quantificazione dello stesso (percentuale di riduzione di alcune misure fondamentali dell'abitacolo). Tale parametro, unitamente ad un'accurata documentazione fotografica delle principali rotture e deformazioni, contribuisce alla formulazione del parere finale. La normativa prevede inoltre precise modalità di acquisizione dei parametri sopra riportati, nell'allegato "Prescrizioni tecniche per le prove delle barriere e dispositivi di sicurezza stradale ai fini dell'omologazione".

IL PROGETTO DELL'INSTALLAZIONE

Fino a questo punto si sono considerati solo gli aspetti relativi alla progettazione delle diverse tipologie di barriere di sicurezza stradale.

Si ritiene opportuno, ora, affrontare brevemente le problematiche relative alla progettazione dell'installazione, cioè alle modalità di identificazione delle zone da proteggere e del livello di contenimento opportuno per le stesse zone.

Su tali aspetti la normativa nazionale è molto sintetica, e di fatto offre ampia discrezionalità al progettista, salvo alcune indicazioni ritenute cogenti. I riferimenti specifici sull'argomento possono essere riassunti come segue.

Bollettino Ufficiale del C.N.R. 28 luglio 1980

Prevede che gli spartitraffico siano muniti di barriera di sicurezza nel caso di strade con carreggiate separate di stanziate non più di 12 metri.

Per le scarpate laterali, invece, tale norma prevede l'installazione di barriere di sicurezza nel caso di:

- scarpate di altezza > 3.50m e pendenza ≥ 1/5 e < 2/3;
- scarpate con pendenza ≥ 2/3.

D.M. LL.PP. n. 223 del 18.02.1992 e successivi aggiornamenti

Riporta le indicazioni prescrittive per le installazioni di sicurvia su nuovi assi viari o su adeguamenti importanti di assi esistenti.



Con questo Decreto il problema della sicurezza stradale viene opportunamente riconsiderato in base alle notevoli variazioni delle caratteristiche del traffico stradale (intensità di flusso, velocità, massa) subentrate nell'ultimo decennio.

Le protezioni con barriere di sicurezza sono ritenute necessarie nei seguenti casi:

- bordo laterale di tutte le opere d'arte all'aperto (ponti, viadotti, sovrappassi, muri di sostegno della carreggiata);
- spartitraffico, ove presente;
- bordo stradale nelle sezioni in rilevato, per scarpate con

- 5. Larghezza utile del sistema.
- 6. Barriera H4 b con veicolo leggero prima dell'impatto.
- 7. Urto del veicolo pesante contro una barriera H2.

pendenza $\geq 2/3$; per pendenze inferiori si demanda al progettista la valutazione di situazioni di potenziale pericolosità;

- ostacoli fissi (pile di ponti, rocce affioranti, alberature, pali di illuminazione, supporti per segnaletica, edifici, cortili).

La normativa tecnica di riferimento non definisce precisamente i criteri di scelta delle barriere nelle diverse situazioni di installazione. Il D.M. sopra citato riporta solo una tabella di sintesi (vedi Tab. 4) che indica le classi minime di barriere da impiegare in funzione:

- del tipo di strada (classificata o assimilata in base al Nuovo Codice della Strada);
- del tipo di traffico (I, II o III, a seconda del TGM e della percentuale di traffico pesante);
- della destinazione generale delle barriere stesse (spartitraffico, bordo laterale, bordo ponte).

dei veicoli leggeri;

- una seconda in campo plastico, mediante la deformazione permanente di tutti gli elementi della barriera ed in particolare dei montanti, alla base dei quali si determina una cerniera plastica.

Un ulteriore contributo all'assorbimento dell'energia cinetica è determinato dalla deformazione elasto-plastica del veicolo.

Trasmissione delle forze al terreno

La trasmissione al terreno degli sforzi conseguenti all'urto viene garantita dimensionando opportunamente l'infissione dei montanti (generalmente -1.20 metri da quota terreno), in modo tale da rendere efficaci le reazioni del terreno per la realizzazione della cerniera plastica alla base degli stessi montanti (generalmente a -0.20 m da quota terreno,

8. Distanza determinante per l'installazione di sistemi di ritenuta su autostrade e superstrade.

9. Distanze determinanti massimali per l'installazione di sistemi di ritenuta lungo strade a traffico misto per $V=50-80$ km/h.

Tipo di strade	Traffico	Destinazione barriere		
		Spartitraffico	Bordo laterale	Bordo ponte
Autostrade (A) e strade extra-urbane principali (B)	I	H2	H1	H2
	II	H3	H2	H3
	III	H3-H4	H2-H3	H4
Strade extra-urbane secondarie (C) e strade urbane di scorrimento (D)	I	H1	N2	H2
	II	H2	H1	H2
Strade urbane di quartiere (E) e strade locali (F)	III	H2	H2	H3
	I	N2	N1	H2
	II	H1	N2	H2
	III	H1	H1	H2

Fonte: D.M. LL.PP. 3 giugno 1998

Rimane quindi a carico del progettista la determinazione delle caratteristiche prestazionali da adottare nelle singole specifiche situazioni, solo parzialmente elencate dalla stessa normativa e sopra riportate, nonché la determinazione di una larghezza di riferimento che individui una possibile fascia di sicurezza, oltre la quale eventuali ostacoli presenti non necessitano di protezione.

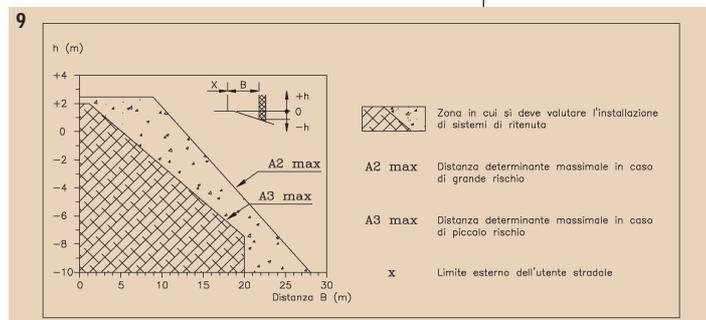
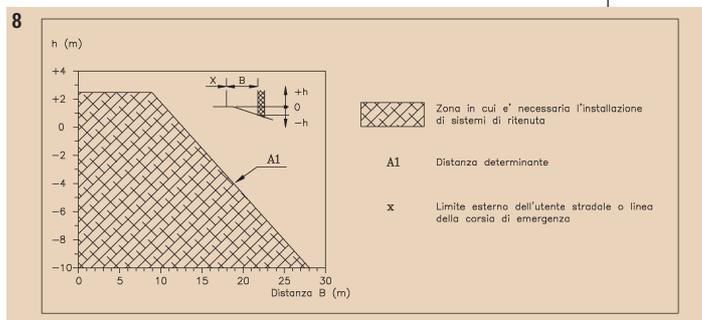
A tale proposito, in Autostrada del Brennero si è fatto riferimento alla letteratura internazionale sull'argomento, ed in particolare alle norme tecniche svizzere Schweizer Norm 640 566 (dicembre 1995), che definiscono in modo preciso la "distanza determinante" come la distanza oltre la quale non è ritenuta necessaria l'installazione di sistemi di sicurezza, ed inoltre identificano una casistica più dettagliata di installazioni e di caratteristiche prestazionali richieste.

no, in base all'esperienza maturata in diversi tipi di terreno). Attualmente la profondità di infissione dei montanti è desunta, di fatto, da considerazioni sperimentali e da prove dal vero; è in fase di sviluppo un aggiornamento della normativa tecnica internazionale che intende definire scientificamente il comportamento del terreno soggetto a forze dinamiche.

Sono state fatte prove empiriche sulla infissione dei palletti in sovrastrutture stradali (conglomerato bituminoso + rilevato compattato) per complessivi cm 70, riferiti a quelle situazioni particolari nelle quali per la presenza di sottoservizi (canalizzazioni, cavi ecc.) non si può raggiungere la profondità di cm 120 standard. Ebbene anche in questi casi la cerniera plastica si forma a circa 10-20 cm dalla quota del terreno.

Trasmissione delle forze ai cordoli di manufatti

Nel caso, invece, di intervento su opera d'arte, è necessario rinforzare la struttura dei cordoli dei viadotti o dei muri di sostegno, generalmente non dimensionati all'epoca di costruzione per gli sforzi trasmessi dalle moderne barriere di sicurezza. Spesso, inoltre, l'intervento di sostituzione della sicurvita riguarda opere fortemente degradate in seguito all'attacco combinato dei sali disgelanti (prima causa della



IL PROGETTO DELLE CONDIZIONI DI VINCOLO

Comportamento meccanico della barriera

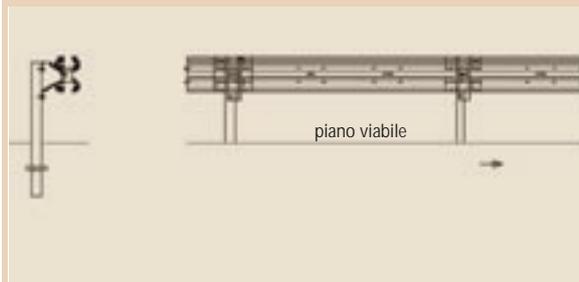
La barriera di sicurezza stradale in acciaio può essere genericamente schematizzata come una o più "travi" (nastro, corrimano, scansaruota) su infiniti "appoggi" (montanti). L'assorbimento dell'energia cinetica del veicolo da parte di tale sistema avviene, semplificando, in due fasi:

- una prima in campo elastico, a cui si riduce spesso l'urto

corrosione delle armature), della carbonatazione (reazione chimica fra cemento e anidride carbonica penetrata nel conglomerato) e dei cicli di gelo e disgelo (con accelerazione del distacco di porzioni di conglomerato).

Tali considerazioni hanno portato, di fatto, in Autostrada del Brennero, alla decisione di prevedere la costruzione delle eventuali barriere di sicurezza su opere d'arte all'interno dei programmi di risanamento e/o ricostruzione delle stesse opere. L'installazione di barriere di sicurezza su

SCHEDA TECNICA



Classe (EN1317): H2 - barriera stradale ad alto contenimento.

Crash-tests:

- autovettura, peso 900kg, velocità 100km/h, angolo di impatto 20°;
- pullman, peso 13t, velocità 70km/h, angolo di impatto 20°.

Installazioni: laterale su rilevato, stazioni, svincoli di stazione.

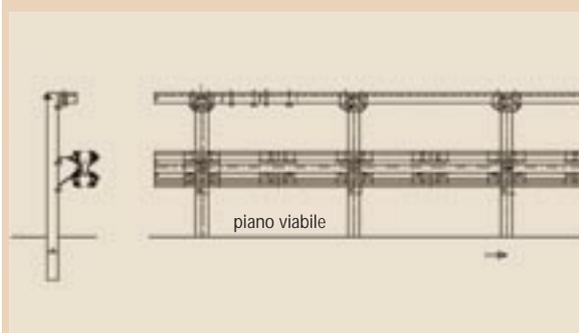
Altezza su piano viabile: cm. 75

Altezza sup. lama su piano viabile: cm. 75

Altezza lama: cm. 31

Profondità di infissione: cm. 120

Larghezza cm: 43.8



Classe (EN1317): H3 - barriera stradale ad alto contenimento.

Crash-tests:

- autovettura, peso 900kg, velocità 100km/h, angolo di impatto 20°;
- camion, peso 16t, velocità 80km/h, angolo di impatto 20°

Installazioni: centrale spartitraffico, pile sovrappassi, laterale opere minori.

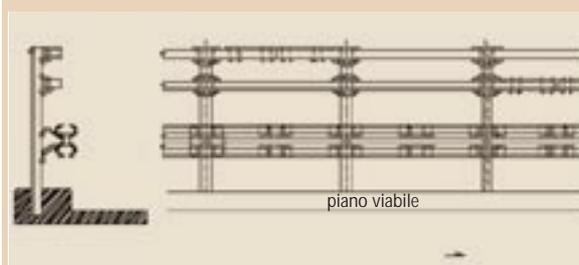
Altezza su piano viabile: cm. 125

Altezza sup. lama su piano viabile: cm. 75

Altezza lama: cm. 31

Profondità di infissione: cm. 120

Larghezza cm: 43.8



Classe (EN1317): H4b - barriera stradale a contenimento molto alto.

Crash-tests:

- autovettura, peso 900kg, velocità 100km/h, angolo di impatto 20°;
- autoarticolato, peso 38t, velocità 65km/h, angolo di impatto 20°.

Installazioni: laterale su ponti e viadotti, parallelismo altri assi viari o ferroviari.

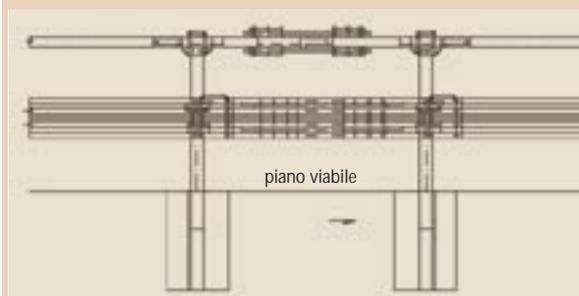
Altezza su piano viabile: cm. 155

Altezza sup. lama su piano viabile: cm. 83

Altezza lama: cm. 31

Profondità di infissione: cm. 25 min. su cordolo

Larghezza cm: 43

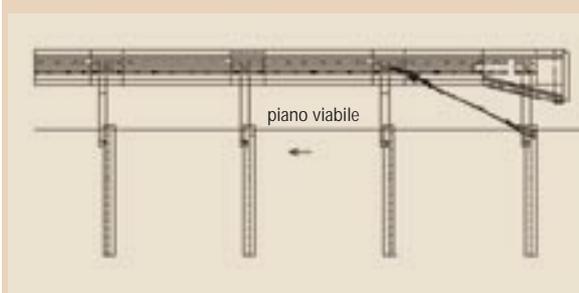


Classe (EN1317): H3 - barriera stradale removibile.

Crash-tests:

- camion, peso 16t, velocità 80km/h, angolo di impatto 20°

Installazioni: chiusura varchi nello spartitraffico centrale



Classe (EN1317): P4 - terminale/iniziale di barriera laterale.

Crash-tests:

- autovettura, peso 900kg, velocità 100km/h, impatto frontale disassato;
- autovettura, peso 1500kg, velocità 110km/h, impatto frontale in asse;
- autovettura, peso 1500kg, velocità 110km/h, impatto laterale con angolo di 15°;
- autovettura, peso 900kg, velocità 100km/h, impatto laterale con angolo di 165°;

Installazioni: inizio-fine tratti di barriera di sicurezza laterale



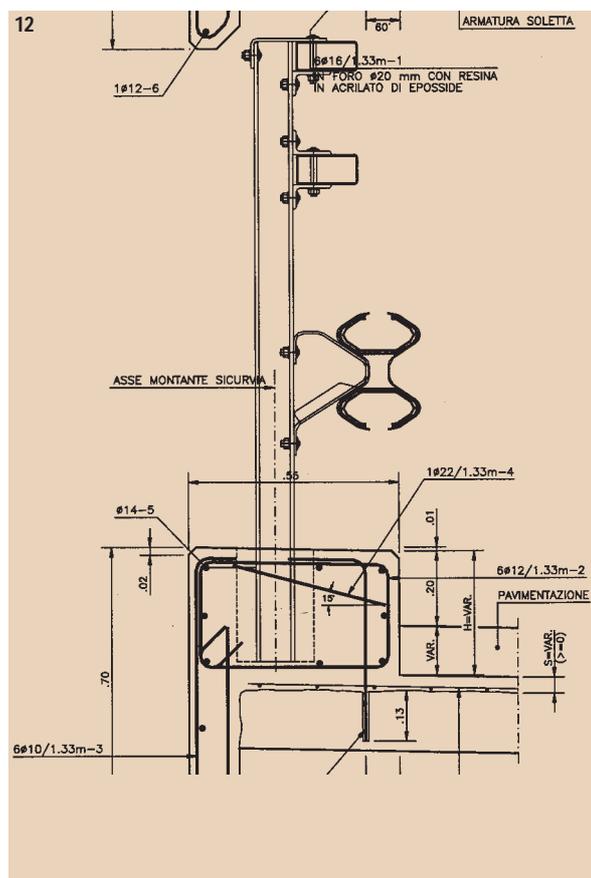
10. Barriera H4b con veicolo pesante prima dell'impatto.

11. Effetti dell'urto contro la barriera H2.

12. Particolare del cordolo per il montaggio della barriera H4b su opera d'arte.

cordoli di opere d'arte, quindi, viene effettuata contestualmente al rifacimento completo dei cordoli stessi, con rinforzo del collegamento dei cordoli all'impalcato, previa verifica della struttura dell'opera nel suo complesso.

Riguardo ai carichi trasmessi dalle barriere di sicurezza alle strutture, preme precisare che si ritiene non adeguato alle moderne tipologie di sicurvità quanto previsto dall'unico riferimento normativo in vigore, e cioè il D.M. LL.PP. 4 maggio 1990, Aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione, la esecuzione ed il collaudo dei ponti stradali. Tale norma, infatti, prevede per il caso di veicolo in svio una forza orizzontale trasversale non inferiore a 4.5 ton applicata a 0.60m dal piano viabile, più una forza orizzontale longitudinale di 3.0 ton ripartita su 4 montanti. Nella realtà, invece, si è constatato che nella fase centrale dell'urto contro barriera da ponte il mezzo pesante (nei crash-tests un autoarticolato da 38 tonnellate) tende a disporsi in direzione parallela alla barriera ed a plasticizzare contemporaneamente tutti i montanti corrispondenti alla propria lunghezza. Nel caso della barriera stradale tipo "Autobrennero" (montanti HEB100 ogni 1.33m), ciò ha portato a calcolare una forza trasmessa distribuita pari a 7.5ton/m applicata a circa 0.60m dal piano viabile e, di conseguenza, un dimensionamento del cordolo come illustrato in figura 12.



Si sottolinea peraltro come rispetto ad altre soluzioni (come i new-jersey in calcestruzzo) la soluzione studiata diminuisce l'energia complessiva (e quindi lo sforzo) trasmesso al cordolo in quanto una parte dell'energia dell'impatto viene impiegata nella deformazione della barriera e dei montanti.

IL PROGETTO DELLA QUALITÀ

Da ultimo, ma non per importanza, si ritiene utile affrontare brevemente la problematica della qualità del materiale che compone la barriera di sicurezza. Questo argomento va considerato ancora nella fase progettuale, in modo tale da essere previsto in Capitolato e verificato in corso d'opera.

Si è già accennato al problema della corrosione delle parti metalliche in ambito stradale: i sali disgelanti sparsi sulle pavimentazioni, le nebbie, l'umidità, i cicli di gelo-digelo intaccano il metallo, anche se protetto, e trovano "alimento" nell'ambiente acido determinato dai gas di scarico (ossidi ed anidride carbonica). Un ulteriore accelerazione del fenomeno può derivare anche da contatti non previsti e non protetti fra materiali con potenziali elettrici diversi, e quindi con caratteristiche di resistenza alla corrosione diverse ("effetto pila", a scapito del materiale più nobile).

Nelle barriere di sicurezza si cerca generalmente di porre rimedio a tale problema in due modi:

- tramite l'utilizzo di acciaio "autoprotetto" o "autopassivante" (tipo Cor-ten, Resco e simili);
- tramite la zincatura a caldo dell'acciaio tradizionale (Fe360, Fe430, Fe510 secondo UNI EN 10025).

L'Autostrada del Brennero ha sempre utilizzato, fin dalla costruzione, soprattutto l'acciaio autopassivante, sia per la resistenza alla corrosione atmosferica che per la particolare colorazione brunita (conseguente allo strato superficiale di ossidi stabili), meno impattante alla vista dell'acciaio zincato soprattutto in caso di sostituzione di tratti limitati di barriera per incidenti.

Le particolari caratteristiche meccaniche e di resistenza alla corrosione derivano, per tale acciaio, dal grano austenitico estremamente fine (= dimensione media dei cristalli dell'acciaio allo stato austenitico prima dell'ultima trasformazione al raffreddamento) e dall'aggiunta di particolari elementi di lega (cromo, rame e nichel).

Le verifiche da condurre su tale tipo di acciaio sono di tipo chimico (elementi presenti in lega), meccanico (resistenza caratteristica allo snervamento, resilienza ed allungamento) e fisico (grano austenitico).

Per quanto riguarda l'acciaio tradizionale zincato a caldo, le caratteristiche chimiche e meccaniche da rispettare sono determinate dalla normativa UNI EN 10025. La resistenza alla corrosione, in questo caso, è garantita da una protezione superficiale ottenuta tramite zincatura. Con questo termine si identifica un particolare procedimento, molto complesso, che deve essere eseguito e verificato con attenzione in tutte le sue parti.

Una prima verifica va condotta sul supporto: gli elementi

che concorrono in diversa percentuale a formare l'acciaio possono influenzare, a seconda del contenuto percentuale, la reazione fra il ferro e lo zinco, che determina lo strato protettivo. Ad esempio, un eccessivo contenuto di silicio nell'acciaio determina un eccesso di spessore e di fragilità del rivestimento; recenti indagini hanno determinato in $0.15\pm 0.25\%$ e $0.03\pm 0.04\%$ i due ranges ammissibili di contenuto massimo di silicio.

Nel procedimento, inoltre, va curata attentamente la preparazione delle superfici da zincare, secondo le seguenti fasi: sabbiatura (per eliminare residui bituminosi o di saldatura), sgrassaggio in soluzione calda (solitamente a base di soda caustica), decapaggio mediante immersione in acido cloridrico (per eliminare ossidi, ruggine e calamina), flussaggio mediante immersione in una soluzione di sali di zinco e di ammonio (per agevolare l'aggrappo), preriscaldamento e finalmente immersione nello zinco fuso, puro almeno al 98%, ad una temperatura variabile dai 440 ai 460°.

Lo spessore minimo della zincatura risultante deve essere pari a 80mm.

Anche in questo caso le caratteristiche chimiche, fisiche e meccaniche da rispettare sono determinate dalle normative tecniche in vigore, reperibili nella letteratura sull'argomento e parzialmente riportate in bibliografia.

In Autobrennero le barriere in acciaio zincato vengono utilizzate unicamente nell'ambito della ristrutturazione dei ponti, per evitare che la colatura rugginosa, tipica dei primi periodi di esposizione del CORTEN, sporchi i manufatti appena realizzati con effetti estetici sgradevoli.

CONCLUSIONI

Il progetto di fornitura ed installazione di barriere di sicurezza stradale va organizzato su più livelli:

- determinazione dei livelli di protezione da garantire lungo la stessa strada e scelta della tipologia opportuna per le diverse situazioni;
- progetto delle diverse tipologie di barriera previste dalla normativa per la particolare classe di strada su cui si intende intervenire;
- progetto degli interventi su opere d'arte (muri di sostegno, ponti, viadotti) o in terreni particolari (argilla, roccia);
- progetto, prescrizione di Capitolato e verifica in corso d'opera della qualità dei componenti delle barriere e dell'installazione, con individuazione della normativa tecnica di riferimento essenziale allo scopo.

Attualmente tale attività progettuale complessa si ferma spesso al punto (b), ritenuto, inoltre, erroneamente di competenza esclusiva dei produttori di guard-rail, che hanno oltre alla preoccupazione prestazionale anche la preoccupazione di minimizzare il costo del loro prodotto, preoccupazione non sempre positiva per il risultato finale.

Oggi si impone la necessità di cambiare tale approccio

semplificistico alle problematiche della sicurezza stradale, in considerazione delle nuove caratteristiche del traffico moderno (flusso-velocità-massa), del costo sociale determinato dall'incidentalità stradale, nonché di una maggiore consapevolezza civile maturata sull'argomento.

A questo proposito - e l'esperienza di ottimizzazione delle barriere di sicurezza nel corso dei crash-test lo ha dimostrato in maniera evidente - si sottolinea come la separazione storica e professionale fra progettazione dei veicoli e progettazione delle strade e degli "accessori" stradali rappresenti un limite alla creazione di un sistema strada-veicolo che renda massima la sicurezza per l'utente.

Banalmente una barriera che trattiene un autobus, che è un veicolo carrozzato e quindi "liscio", non riesce a trattenerne un autocarro dello stesso peso che la investe alla stessa velocità anche per problemi costruttivi del veicolo (forma dei mozzi delle ruote anteriori, aggancio dell'asse anteriore al telaio, collegamento fra cassone e telaio, asperità e spigoli laterali).

Ancora il problema del collegamento fra carico e veicolo, l'altezza del baricentro sono tutte questioni "subite" dalla strada e di conseguenza dalla barriera di sicurezza senza alcuna possibilità di modificare l'impostazione del parco circolante.

L'Autostrada del Brennero ha cercato - per quanto nelle proprie competenze - di migliorare la sicurezza per l'utente avendo sviluppato un progetto di barriera completo delle varie componenti necessarie:

- laterale,
- centrale,
- bordo ponte,
- varchi,
- terminali,
- transizioni.

Tale progetto è stato reso operativo attraverso un programma di installazione già in avanzata fase di esecuzione, tanto è vero che nel 2001 si prevede di completare la sostituzione della barriera centrale spartitraffico su tutta l'asta dal Brennero fino a Modena, mentre dal 1999 è già iniziata la sostituzione della barriera laterale, sostituzione che si prevede di completare entro il 2003.

Il continuo confronto far la attività di progettazione e di installazione ha permesso poi di risolvere i problemi operativi e i dettagli costruttivi in modo che riteniamo estremamente soddisfacente.

Questo progetto non sarebbe stato possibile senza l'apporto determinante del prof. Vittorio Giavotto e del prof. Carlo Caprile del Politecnico di Milano, che hanno curato la progettazione della barriera e la simulazione al computer dei crash test.

Un particolare ringraziamento va alla ditta De Paoli Ezio & C. di Trento che ha costruito tutti i prototipi degli elementi da sottoporre alle prove di crash ed ha messo a disposizione la propria esperienza concreta per il miglioramento degli aspetti operativi e di realizzabilità della barriera stessa e ai dipendenti della Società che hanno montato i prototipi nel campo prove, spesso con notevole sacrificio ed impegno.

La Società ha deciso di proteggere il proprio lavoro attraverso la richiesta e l'ottenimento di un brevetto sul sistema nel suo complesso e sui particolari esecutivi più interessanti.

Vi è comunque la piena disponibilità a permettere a tutti i gestori di strade la possibilità di utilizzare gratuitamente la barriera progettata da Autobrennero anche perché lo scopo di questa attività è quello di migliorare lo standard di sicurezza non solo dell'Autostrada del Brennero ma di conseguenza di tutta la viabilità. ■

13. Tratto autostradale della A22.

