

# STRADE



Studi e Progetti  
Grandi infrastrutture  
Cantieri Impianti Ambiente  
Macchine Tecnologie Materiali

# AUTOSTRADE

**COSTRUZIONE e MANUTENZIONE di STRADE • AUTOSTRADE  
PONTI • GALLERIE • OPERE PUBBLICHE e TUTELA dell'AMBIENTE**



n° 54 - anno IX

**6** Novembre/Dicembre  
**2005**

**L'Autostrada A4  
TO-MI si ammoderna**

**Strumenti e mezzi  
per la manutenzione  
moderna**

**Soluzioni per la  
sicurezza in galleria**

**Arcate metalliche  
per ponti**

**Galliano Di Marco**



**L'uomo che vive...  
in autostrada**

**La MM a Rho Fiera**

**Miscele stradali  
per scopi drenanti**

**Controlli sui  
conglomerati drenanti  
fonoassorbenti**

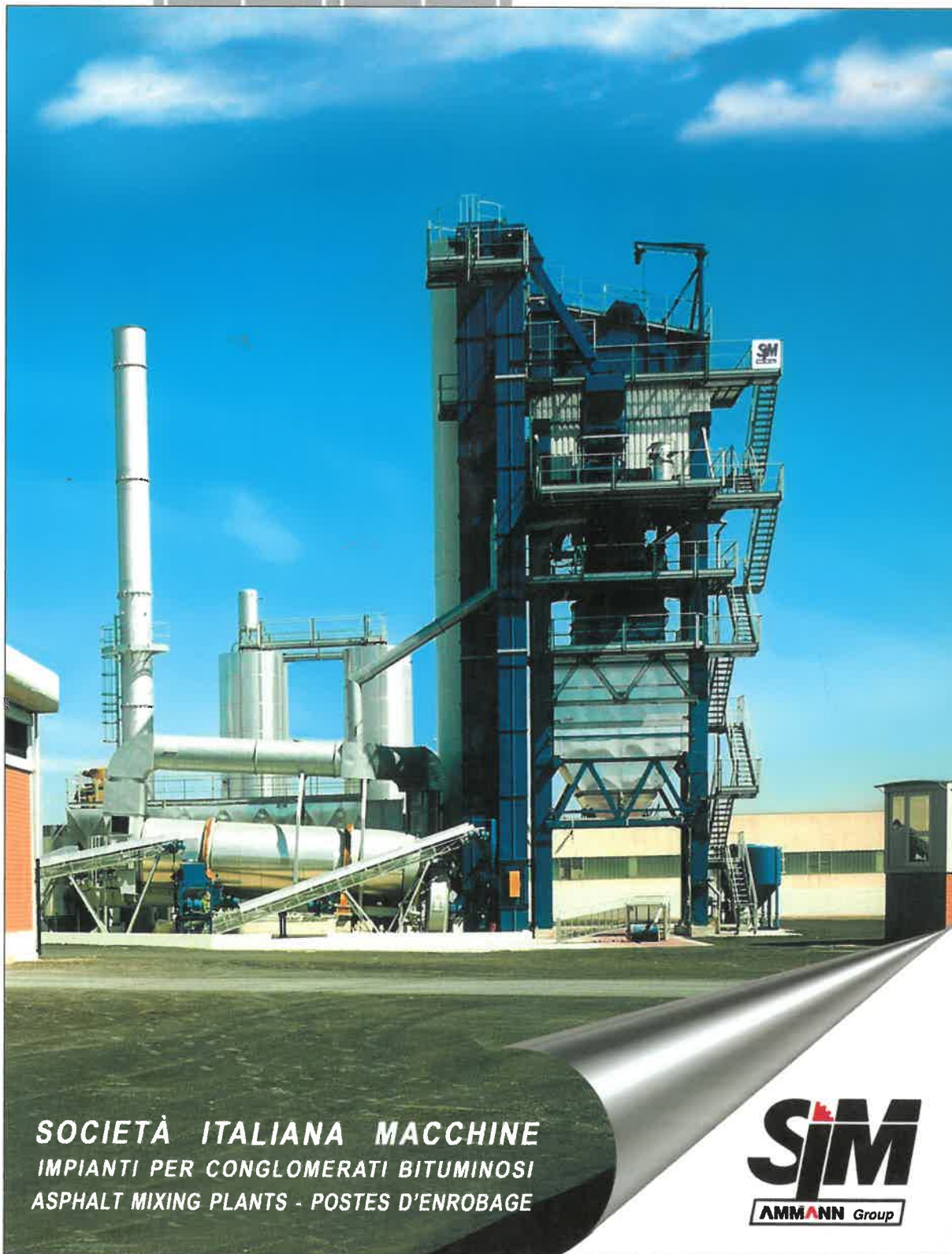
**Fresature da record**

**Risale il mercato M.T.**

**Infrastrutture stradali  
viarie "eufoniche"**



Milano



**SOCIETÀ ITALIANA MACCHINE**  
IMPIANTI PER CONGLOMERATI BITUMINOSI  
ASPHALT MIXING PLANTS - POSTES D'ENROBAGE





*I terremoti del 1999 in Turchia hanno provocato notevoli danni ad un viadotto di 2,4 km appena ultimato. Interventi di "retrofitting" sull'impalcato hanno consentito di riposizionare l'opera con speciali martinetti idraulici*

## UN VIADOTTO... UNICO

Mario Mancini\*



**Nel corso di questi ultimi anni abbiamo assistito sempre più frequentemente a disastri atmosferici di varia natura con gravi danni per le infrastrutture e che, soprattutto, hanno causato numerose perdite di vite umane.**

Veduta panoramica del Viadotto 1

**I**n Turchia, Paese in cui la Società Astaldi SpA lavora da diversi anni, nel corso del 1999 si è purtroppo assistito allo scatenarsi dell'immensa forza della natura di due terremoti. Quello del 17 Agosto, nella zona di Kocaeli (Izmit) che provocò circa trentamila vittime e centocinquantaquantamila senzatetto; quello del 12 Novembre, che ci investì più da vicino, con magnitudo 7,2, fece circa ventimila vittime con epicentro in prossimità proprio nella zona dei lavori, a circa 12 km dal Viadotto 1 e una stazione sismografica nelle vicinanze di Bolu registrò un PGA (Peak Ground Acceleration) di 0,8 g.

Era stato da poco ultimato questo viadotto per l'intera sua lunghezza di circa 2.400 m, nel lotto 2 dell'Autostrada Anatolica Gumusova-Gerede, tra Istanbul e Ankara e la struttura fu sottoposta ad un collaudo, "full scale" non previsto, all'interno della zona più sollecitata dal terremoto. Infatti, proprio a circa due terzi del viadotto, l'evento sismico aveva generato la rottura di una faglia (lateral fault slip) in direzione NO-SW.

Il viadotto era stato progettato prendendo come dato sismico un EGA (Effective Round Acceleration) pari a 0,4 g, in accordo con le raccomandazioni AASHTO allora in vigore (edizione 1989); questi parametri erano relativi ad un terremoto con periodo di ritorno di cinquecento anni.

Dopo i primi momenti di panico, pur se gravemente danneggiato, si costatò che l'impalcato era rimasto in piedi, nonostante alcune pile fossero state diversamente dislocate dalla loro posizione originale dal movimento della faglia, con spostamenti intorno ai 100-120 cm e con alcune campate che erano sospese nel vuoto al di fuori dell'area d'appoggio sui pulvini, sostenute solo dai ferri e dal calcestruzzo della soletta di collegamento tra gli impalcati.

E' forse ancora oggi l'unico esempio di struttura sottoposta ad evento sismico di notevole rilevanza e attraversante una faglia attiva ad aver retto alla furia della tremenda scossa combinata con uno spostamento fisico delle strutture principali che non abbia subito danni definitivi che avrebbero sicuramente compromesso il suo recupero e meritandosi il riconoscimento della rivista specializzata ENR - Special Advertising Section come "Best Projects" 1999.

Se fosse stato già in esercizio e aperto al traffico non avremmo avuto altre vittime: questo è lo scopo del progettare correttamente e del buon costruire secondo le regole della qualità e lo stato dell'arte.

Dopo i primi giorni vissuti tra la paura di subire ulteriori altre forti scosse che avrebbero potuto aggravare le già precarie condizioni di stabilità, non solo quelle dovute all'inevitabile sciame sismico, cominciarono i primi contatti con vari esperti per stabilire il da farsi e come la no-



tizia di questo viadotto rimasto in piedi miracolosamente cominciò a propagarsi tra gli esperti del settore, iniziò una lunga processione di tecnici da tutto il mondo che venne a vedere da vicino questo esempio unico. Alla fine dei numerosi consulti, il progetto per la riabilitazione e la messa in sicurezza del viadotto fu affidato al Prof. G.M. Calvi dell'Università di Pavia e a M.J.N. Priestley, Professore emerito della UC a San Diego, che studiarono da esperti, vista la loro professionalità e le numerose applicazioni del recente passato, su come poter salvare il viadotto e adeguarlo a più severi parametri in grado di sopportare ancora meglio eventuali nuovi sismi.

Questo viadotto, il cui progetto esecutivo e costruttivo è dell'Ing. Paolo Versace, ora alla Technical di Verona ma già Progettista Astaldi anche per le strutture dei lotti in esercizio, con la consulenza dello Studio Macchi di Milano per la concezione e l'impostazione strutturale dell'opera e del Prof. Vincenzo Pane dell'Università di Perugia per i terreni di fondazione, è costituito da due carreggiate separate e indipendenti della larghezza di 17,50 m con sette travi precomprese da 36 m per campata, semplicemente appoggiate con soletta continua per dieci campate gettate in opera.

Tutte le travi erano adagiate su appoggi POT multidirezionali della FIP, libere di scorrere su piani d'acciaio inox lucidato in condizioni normali per 32 cm e con un massimo in campo plastico di 48 cm e bloccate da speciali dissipatori (denominati EDU, Energy Dissipation Units, forniti dall'ALGA) in grado di dissipare, tramite la duttilità elasto-plastica dei suoi componenti metallici, sia le sollecitazioni termiche sia parte dell'energia indotta dal movimento dell'impalcato in caso di sisma, questo per ridurre gli sforzi sia sulle pile - per non sovraccaricarle eccessivamente - sia sulle fondazioni. Inoltre, per proteggere la struttura da eventuali collassi dell'impalcato, secondo le raccomandazioni AASHTO, in corrispondenza dei giunti, in questo punto gli impalcati erano ancorati ogni 400 m con trefoli ad un blocco di calcestruzzo armato del pulvino.

Grazie a questi dispositivi la struttura è riuscita a dissipare parte dell'energia prodotta, ma non in maniera sufficiente tale da non provocare danni alle parti in calcestruzzo e a questi dispositivi, anche perché il movimento complessivo generato dal sisma e dalla faglia è stato più del doppio rispetto a quella di progetto.

Da quest'esperienza sconvolgente si è passati alla verifica puntuale di ogni parte della struttura, verificando i possibili danni sui pali, plinti di fondazione, pile e pulvini, spalle e solette dell'impalcato.

Fortunatamente il danno sui pali è stato minimo: su qualche plinto di fondazione si è proceduto a farne di nuovi a coronamento del contorno e ricollegando i ferri d'armatura del plinto stesso alla struttura in calcestruzzo con un nuovo getto e generando l'allargamento della base; per le pile, invece, nessuna è stata fessurata o danneggiata; soltanto in corrispondenza del piano di scorrimento della faglia si è verificato un fuori piombo di circa 3° poi riassorbito al momento del sollevamento dell'impalcato, essendo le deformazioni subite dalla struttura ancora tutte nel campo elastico.

Dal risultato di quest'analisi è partito l'adeguamento della struttura ai nuovi parametri sismici richiesti dal Cliente: periodo di ritorno = due-mila anni al quale corrisponde un PGA DI 0,8 g e considerazione del "near field effect" secondo quanto previsto dalle Normative sismiche AASHTO in definizione nel 2001 e con una nuova filosofia progettuale, sulla base delle esperienze fatte in altre parti del mondo - soprattutto negli USA - dove è in corso da diversi anni per molti dei ponti e viadotti l'adeguamento delle strutture a sopportare terremoti di più alto grado sismico.

La filosofia del "Retrofitting & Strenghtening" è stata quella di utilizzare le strutture esistenti, dopo evidente verifica strutturale, adeguandole ai nuovi e più severi requisiti antisismici.

La soluzione studiata dai Progettisti - e approvata dal Cliente - ha praticamente introdotto la "semplice" modifica del sistema impalcato-appoggi: si è passati da una campata su un semplice appoggio ad una



*I danni provocati dal terremoto*



*Le opere di "retrofitting" per il recupero dell'opera*

campata continua su un "appoggio sismico" (due su ogni pulvino) in grado di consentire spostamenti fino a +/-600 mm sulla zona attraversante la faglia.

La continuità longitudinale agli esistenti impalcati è stata realizzata tramite un diaframma rigido trasversale, post-compresso, gettato in opera e conglobante le testate delle travi costituenti i due impalcati contigui.



I lavori ultimati

Una volta redatto e approvato il progetto definitivo di "Retrofitting" si è passati alla ricerca di imprese specializzate in simili delicati interventi sull'impalcato; si è quindi indetta la gara da cui è risultata vincitrice la Freyssinet Terra Armata Srl che, in collaborazione con la Casa Madre Freyssinet International, ha svolto il suo lavoro per un periodo di trentaquattro mesi, da Settembre 2002 a Luglio 2005, con gran perizia e organizzazione, fornendo prova di professionalità e capacità.

Le modifiche hanno riguardato il riposizionamento dell'impalcato, sia trasversalmente sia longitudinalmente, ad una quota maggiore di circa 80 cm rispetto al progetto originario per permettere l'inserimento di nuovi appoggi sferici della E.P.S. (Earthquake Protection Systems, Inc.) di Richmond (California) chiamati "Friction Pendulum Seismic Isolation Bearings", ancorati sul pulvino e inghisati sulla nuova trave post-tesa costruita ad hoc, diaphragm beam, che rappresenta il traverso dell'impalcato, che ingloba le sette travi in c.a.p. dell'impalcato.

L'operazione più delicata e complessa è stata quella di sollevare a circa 50 m da terra i dieci impalcati continui, cioè il segmento, per portarlo in quota traslandolo al fine di riallinearlo in asse trasversale e spostarlo lungo l'asse longitudinale sino a ricentrare il tutto sui pulvini d'appoggio; si pensi che ogni impalcato tra i due pulvini contenenti le sette travi e la soletta pesano circa 1.200 t.

L'attrezzatura e gli speciali martinetti idraulici sono stati progettati e realizzati dalla stessa Freyssinet che ha messo a punto anche il sistema sincronizzato per lo spostamento simultaneo e coordinato del segmento, ossia dei dieci impalcati.

Oggi il lavoro di recupero risulta ultimato e il Viadotto 1, completamente ristrutturato, è pronto ad affrontare la sua nuova vita e sopportare l'intenso traffico che convoglierà su quest'arteria nevralgica di collegamento tra le città di Istanbul e Ankara.

#### Dati tecnici

Cliente: Ministry of Public Works and Settlement - General Directorate Highways  
Ingegnere: Yüksel Proje AS (Ankara)  
Impresa esecutrice: Astaldi SpA (Roma)  
Progettazione: Studio Macchi (Milano) e Technital SpA (Verona)  
Retrofitting: Studio Calvi (Pavia), Prof. N. Priestley  
SubContractor Retrofitting: Freyssinet Terra Armata Srl (Roma)  
New Bearings: EPS - California (USA)

\* Ingegnere di Astaldi SpA

#### Ringraziamenti

Il ringraziamento per la felice conclusione di quest'opera va a tutti coloro che, a vario titolo, hanno collaborato alla realizzazione di quest'importante struttura, dai Progettisti ai Fornitori, dal Sub-appaltatori alle Maestranze che, nel corso dei vari anni, si sono susseguite sino a vederla realizzata e ora pienamente recuperata, pronta ad entrare in esercizio.