

- RASSEGNA DEL CTA -

notiziario a cura di: ing. Emanuele Maiorana

La Rassegna del CTA è redatta con il contributo di tutti i sigg. Soci e non ha uno schema redazionale fisso. I sigg. Soci che desiderano collaborare con articoli, note, segnalazioni riguardanti argomenti di interesse comune possono contattare il curatore del notiziario presso la segreteria del collegio. In particolare sono trattate le seguenti rubriche:

O ordini professionali

A architettura e progettazione

N normativa

I innovazione tecnologica

W siti internet

D didattica e corsi

C calcolo numerico

F costruzioni in officina

L letteratura tecnica

V viadotti e ponti

M materiali

R ricerca

S strutture miste

Q qualità

E ECCS

Comitato Direttivo

Presidente

A.De Martino

Consiglieri

R.Bassi

C.Bertolini

S.Calzolari

G.Coracina

R.De Col

A.De Luca

S.Di Trapani

F.Masetti

A.Miazzon

L.Nusiner

P.Pistoletti

C.Urbano

Rappr.ACAI

A.Vintani

Segreteria

G.Borla

Sommario

A5 Ripristino di ponti metallici con FRP

N10 Elenco delle norme tecniche del CNR sulle costruzioni

D17 Corrosione e Protezione

D18 Incontro acciaio inossidabile

L24 La scienza dell'ingegneria strutturale

A5 Ripristino di ponti metallici con FRP

prof. Angelo Di Tommaso ¹
arch. Valeria Zerbo ²

Introduzione

L'uso di FRP-materials si è dimostrato efficace nel rinforzo di strutture in calcestruzzo. Questi interventi si basano sull'applicazione in sito, ad opera di tecnici qualificati, di tessuti o nastri di fibre di carbonio, vetro o aramide impregnati con polimeri termoindurenti. L'efficacia di questi interventi è dimostrata sia da un'estesa attività di ricerca in laboratorio sia dalle applicazioni a strutture esistenti.

Anche le strutture metalliche possono richiedere un intervento di rinforzo a causa di mutamenti di destinazione d'uso, incrementi di carichi, corrosione o problematiche legate al fenomeno della fatica. Attualmente i metodi di rinforzo utilizzati per ripristinare la capacità portante di strutture metalliche si basano sull'applicazione di piatti d'acciaio da imbullonare o saldare alla struttura originale. Queste tipologie d'intervento presentano aspetti negativi. E' necessario, innanzitutto, definire con precisione il dettaglio costruttivo da porre in opera, per il quale si deve considerare anche l'accessibilità di quella parte della struttura.

¹ Professore Ordinario di Scienza delle Costruzioni - Dipartimento di Costruzione dell'Architettura - Università IUAV - Venezia

² Dottoranda - Dipartimento di Costruzione dell'Architettura - Università IUAV - Venezia - email: valeriaz@iuav.it

I piatti d'acciaio, inoltre, introducono ulteriori carichi permanenti i quali riducono notevolmente l'efficacia dell'intervento di rinforzo e possono essere interessati allo stesso modo da fenomeni di corrosione. L'uso della saldatura è sconsigliato, considerato il possibile insorgere del fenomeno di fatica dovuto ad eventuali difetti di saldatura.

Le problematiche legate all'uso di questi "metodi tradizionali" sono superate negli interventi che si caratterizzano per l'uso di materiali compositi fibrorinforzati (FRP). Le fibre che compongono questi materiali hanno superiori caratteristiche meccaniche e fisiche e si distinguono per la notevole resistenza a trazione che nel caso del carbonio raggiunge i 2 GPa.

I vantaggi nell'uso di FRP rispetto all'impiego d'acciaio riguardano due aspetti fondamentali. Da un punto di vista economico l'alta resistenza e rigidità rispetto al peso consente di maneggiarli con grande facilità e, per questo motivo, gli interventi di restauro necessitano di un tempo inferiore. Dal punto di vista dell'efficacia dell'intervento, nel caso d'adeguamento o di ripristino della capacità portante, la notevole resistenza a trazione della fibra consente di diminuire le tensioni agenti nella sezione, favorendo la durata del dettaglio costruttivo nei confronti della fatica.

L'applicazione di compositi su strutture d'acciaio consiste nella stesura in situ di strati di tessuti o nastri intervallati da resine termoindurenti mediante la tecnica del wet-lay-up, oppure nell'incollaggio di piatti di compositi anche precompressi. Nella scelta del tipo di fibra da impiegare il carbonio ad alto modulo risulta il più adatto poiché presenta, rispetto alla fibra di vetro, valori del modulo d'elasticità prossimi a quello dell'acciaio. In questo caso è necessario, però, intervenire nell'accoppiamento tra i due materiali con un elemento che abbia la funzione d'isolante onde evitare l'insorgere del fenomeno della corrosione galvanica. In tutti i casi particolare attenzione deve essere rivolta all'efficacia dell'incollaggio all'interfaccia tra substrato e composito. La qualità dell'applicazione dipende dalla preparazione della superficie e dal tipo di resina che è utilizzata.

La superficie dell'elemento da rinforzare ha un importante ruolo nel promuovere l'adesione del laminato di FRP al substrato metallico. La preparazione del substrato può essere realizzata mediante la sabbiatura o mediante abrasione della superficie per rimuovere ogni traccia di ruggine e vernice. In ogni caso si deve garantire una superficie il più possibile liscia e piana per assicurare una disposizione delle fibre lineare. Le strutture di ghisa della fine del 1800 sono caratterizzate da superfici irregolari per le quali si adottano specifiche resine chiamate adesive putty. Prima dell'applicazione del primo strato di resina, la superficie può essere trattata con il solvente chimico acetone e con un primer che ha il compito di promuovere l'adesione e le cui caratteristiche dipendono dal tipo d'adesivo usato. Questo primo strato crea anche un ostacolo alla penetrazione dell'umidità ed assicura la durabilità del sistema di rinforzo.

Ambiti d'intervento

Poiché l'uso di FRP nelle strutture in acciaio non è sviluppato come nel caso del calcestruzzo, l'attenzione dei ricercatori si è focalizzata principalmente su alcune tematiche. Si distinguono le seguenti aree di principale interesse legate ad altrettanti aspetti strutturali che caratterizzano le strutture in metallo: l'intervento sui nodi che permette di ridurre notevolmente l'accrescimento di lesioni dovute alla fatica; l'intervento su elementi tesi e compressi che consente di diminuire notevolmente la tensione nella struttura originale.

Le categorie d'intervento si distinguono in riparazione e rinforzo. Alla prima categoria appartengono gli interventi che hanno come obiettivo l'estensione della vita a fatica della struttura, alla seconda categoria appartengono gli interventi che hanno come obiettivo il rinforzo d'elementi soggetti a sforzi assiali, a momenti flettenti e

l'incremento della rigidità della struttura. Questi interventi si rendono necessari in strutture d'acciaio o ferro compromesse da un'estesa corrosione che determina una diminuzione della sezione resistente o da lesioni dovute a fatica in corrispondenza di connessioni rivettate. Di particolare efficacia risulta l'incollaggio di materiali compositi pretesi.

L'impiego di FRP risulta conveniente anche nelle più vecchie costruzioni metalliche poiché le proprietà meccaniche dei materiali compositi ben si adattano alle caratteristiche strutturali di costruzioni che impiegano ghisa. L'eccezionale resistenza a trazione delle fibre supplisce alla bassa resistenza della ghisa e la resistenza alla corrosione di entrambi i materiali rende l'intervento durevole nel tempo. Le tecniche tradizionali che si basano sulla saldatura sono sfavorevoli poiché richiedono il completo smontaggio dell'opera esistente con un inevitabile aggravio di costi e di consumo di tempo. E' dimostrata, inoltre, l'efficacia dell'applicazione di FRP nel migliorare il comportamento fragile della ghisa.

Applicazioni su strutture esistenti

In Europa e negli Stati Uniti si è ripristinata la capacità portante d'alcuni ponti metallici con interventi basati su FRP. La tecnologia d'applicazione differisce nei vari casi e si possono distinguere: wet lay up, presollecitazione del sistema di rinforzo con elementi pultrusi. In questi casi il grande vantaggio offerto dall'uso di questi materiali riguarda la possibilità di progettare il materiale - tipo di fibra, direzione delle fibre, rapporto resina/fibra - in funzione delle caratteristiche della struttura esistente. I casi che saranno presentati sono le tipologie più rappresentative e riguardano interventi su ponti ad arco e a travata.

Ponte Hythe

Il ponte di Hythe è un ponte a travata che attraversa il fiume Thames con due campate di 7,8 m costruito nel 1874. È composto d'otto travi a T rovescia in ghisa collegate da arcate di mattoni che sostengono la carreggiata veicolare. L'intervento è consistito nella sollecitazione fino a 18 t delle travi di ghisa, alcune delle quali avevano anche subito delle lesioni, con una combinazione di piatti pultrusi di composito rinforzato con tessuti di fibre di carbonio. Il livello di pre-sollecitazione era stato definito per assicurare la rimozione di tutti gli sforzi di trazione dalle travi di ghisa sotto il peso di 40 t. I tessuti sono stati incollati alla trave mediante resina epossidica in aggiunta agli ancoraggi terminali che sono stati circondati da un rivestimento di protezione. Si sono utilizzati quattro piatti pultrusi per ogni trave, posti a ciascuna estremità del tessuto di fibra di carbonio. Quest'ultimo veniva sollecitato da martinetti idraulici fissati in maniera temporanea agli ancoraggi terminali.



Vista generale del ponte Hythe

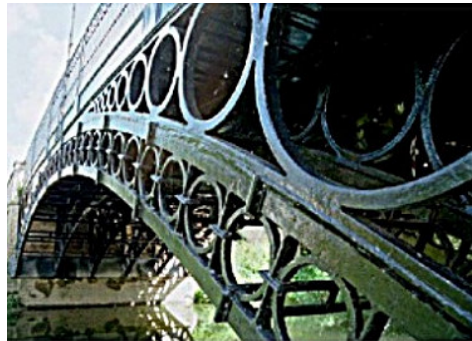


Soletta del ponte dopo l'intervento con FRP

Ponte Tickford

Il ponte Tickford è una struttura di ghisa realizzata da Thomas Wilson nel 1810 nei pressi del centro di Newport Pagnell in Gran Bretagna. Si tratta di un'elegante struttura formata di sei costole di ghisa parallele che compongono una campata della luce di 60 piedi e sostengono un impalcato di larghezza 25 mediante sei cerchi che collegano le due parti. La sua destinazione funzionale prevede il passaggio veicolare di una strada molto trafficata che attraversa la cittadina di Newport Pagnell. L'intervento si basa sull'applicazione in sito di tessuto di fibra di carbonio prepreg mediante la tecnica del wet-lay-up. L'uso del tessuto facilitava, infatti, la stesura sulla superficie curvilinea dei cerchi che caratterizzano i pennacchi degli archi.

Il progetto di riabilitazione ha previsto il rinforzo dei tre più grandi cerchi e di quelli più piccoli posti all'intradosso. Per evitare il fenomeno della corrosione galvanica si è applicato un velo continuo di fibre di poliestere tra ghisa e carbonio. In tutto sono stati applicati 14 strati di tessuto raggiungendo uno spessore di soli 10 mm. La messa in opera è stata completata dall'applicazione di una pittura della stessa colorazione del ponte, che ha permesso di rendere invisibile l'intervento.



Arco del ponte Tickford

Ponte Slattocks Canal

Il ponte Slattocks è localizzato in Inghilterra sul canale Rochdale, è un ponte veicolare ed è stato costruito nel 1936. E' caratterizzato da una campata di 7.6 m. La struttura portante è composta da 12 travi in ferro laminato. L'intervento in composito è consistito nell'applicazione di lamine sull'ala inferiore di ciascuna delle dodici travi a T. Le lamine sono di fibra di carbonio di spessore 4 mm e larghezza 100 mm, applicate in doppio strato per raggiungere lo spessore di 8 mm.

L'intervento ha permesso di elevare la capacità portante del ponte da 17 t a 40 t.



Vista generale del ponte Slattocks Canal



Soletta del ponte dopo l'intervento con FRP

Ponte King Street

Il ponte King Street, in Inghilterra, è un ponte ferroviario adattato successivamente per il transito veicolare. Il ponte è caratterizzato da sei travi di ferro che sostengono archi in muratura di larghezza 2 m. Ha subito un importante intervento nel 1900 quando la sua unica campata fu ridotta da 8,9 m a 5,9 m mediante la creazione di un appoggio nuovo. L'uso di FRP ha permesso di ripristinare l'aspetto originale del ponte. Le travi sono state rinforzate attraverso la posa di due laminati di 170 mm di larghezza e 33 mm di spessore sulle flange inferiori. Laminati pre-preg di carbonio furono disposti longitudinalmente mentre laminati di vetro furono disposti trasversalmente con lo scopo di prevenire la corrosione galvanica. Il rinforzo è stato applicato dopo che la struttura è stata sollevata nella mezzera mediante martinetti, in modo da diminuire il valore della tensione. In questo modo il rinforzo risulta sollecitato anche per il carico proprio della struttura.



Vista generale del ponte King Street

Ponte Corona

Il ponte Corona è una struttura costituita da tre centine fuse in ghisa sagomate inferiormente a formare una arco ribassato avente una luce di appena 4 m. Si tratta del primo ponte in ghisa pedonale realizzato a Venezia. Nel 2001 è stato restaurato con l'obiettivo di arrestare le lesioni e di ridurre la vulnerabilità della struttura agli impatti da imbarcazioni. Gli archi sono stati rinforzati con tessuto triassiale d'aramide mentre le aperture decorative degli archi con nastro unidirezionale. Gli archi laterali sono stati rinforzati solo nelle parti interne, poiché l'aspetto del ponte doveva essere mantenuto. L'arco centrale, invece, è stato rinforzato da entrambi i lati. La resina utilizzata è stata pigmentata di grigio in modo da mascherare l'intervento.



Arco del ponte Corona dopo l'intervento con FRP

Bibliografia

- Bassetti, A., Nussbaumer, A., Hirt, M. 2000. Crack Repair and Fatigue Life Extension of Riveted Bridge Members using Composite Materials. In *Proc., Bridge Engineering Conference, ESE-IABSE-FIB, 26-30 March 2000, Sharm El Sheik (Egypt)*.
- Bastianini, F., Ceriolo, L., Di Tommaso, A., Zaffaroni, G. 2002. Mechanical and non-Destructive Testing to Verify the Effectiveness of Composite Strengthening on an historical Cast Iron Bridge in Venice (Italy). In *MCM2002, XII International Conference on Mechanics of Composite Materials, June 9-13, Riga, Latvia*.
- Cadei, J.M.C., Stratford T.J., Hollaway L.C., Duckett W.G. 2004. *Strengthening metallic structures using externally bonded fibre-reinforced polymers*. London: CIRIA.
- Moy, S. S. J. 2001. *FRP Composite: Life Extension and Strengthening of Metallic Structures: ICE Design and practice guide*. Thomas Telford.
- Moy, S. S. J. 2002. Early Age Curing under Cyclic Loading – an Investigation into Stiffness Development in Carbon Fibre Reinforced Steel Beams. In *Proc., ACIC 2002, Southampton University, UK, 15-17April*, edited by R. A. Shenoi, S. S. J. Moy, L. C. Hollaway. Thomas Telford.
- Moy, S. S. J., Nikoukar, F. 2002. Flexural Behaviour of Steel Beams Reinforced with Carbon Fibre Reinforced Polymer Composite. In *Proc., ACIC 2002, Southampton University, UK, 15-17 April*, edited by R. A. Shenoi, S. S. J. Moy, L. C. Hollaway. Thomas Telford.
- Sen, R., Liby, L., Mullins, G. 2001. Strengthening Steel Bridge Sections Using CFRP Laminates, *Composites:Part B*, 32: from 309-322.
- Shenoi, R. A., Moy, S. S. J., Hollaway, L. C. 2002. *Advanced polymer composites for structural application*. Thomas Telford.
- Zerbo, V. 2001. *Materiali compositi (AFRP) per la riabilitazione di strutture storiche in ghisa: il caso del ponte de la Corona a Venezia*. Thesis, Istituto Universitario di Architettura Venezia, a.a 1999/2000.
- Zerbo, V., Ceriolo L. , Di Tommaso A. 2004. Cast iron arch bridges: from construction to restoration. In *Innovative Materials and Technologies for Construction and Restoration*. Napoli:Liguori editore.

N10 Elenco delle norme tecniche del CNR sulle costruzioni

Titolo della norma	Data	Descrizione
	1973	Determinazione della perdita in peso per abrasione di aggregati lapidei con l'apparecchio "Los Angeles".
	1973	Relazione finale della Commissione di studio per le norme per la protezione contro il fuoco nelle costruzioni a struttura in acciaio.
	1982	Istruzioni per la progettazione e l'esecuzione delle opere in cemento armato e cemento armato precompresso col metodo semiprobabilistico agli stati limite.
	1984	Idroestrattori centrifughi. Istruzioni per il calcolo, le prove e l'esecuzione dei mantelli.
CNR 10025/84	1985	Istruzioni per il progetto, l'esecuzione e il controllo delle strutture prefabbricate in conglomerato cementizio e per le strutture costruite con sistemi industrializzati.
CNR 10033/85	1985	Norme per l'accettazione dei laterizi per murature aventi funzioni resistenti.
CNR 10026/85	1986	Piattaforme di lavoro elevabili: istruzioni per il calcolo e la manutenzione.
CNR 10027/85	1986	Strutture in acciaio per opere provvisorie: istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione.
CNR 10012/85	1986	Istruzioni per la valutazione delle azioni sulle costruzioni.

CNR 10022/84	1988	Profilati di acciaio formati a freddo. Istruzioni per l'impiego nelle costruzioni.
CNR 10021/85	1988	Strutture di acciaio per apparecchi di sollevamento. Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione.
CNR 10028/85	1988	Strutture in lega di alluminio per apparecchi di sollevamento. Istruzioni per il calcolo e l'esecuzione.
CNR 10034/86	1988	Caratteristiche tecniche e requisiti delle calce aeree.
CNR 10035/86	1988	Norme sui requisiti di accettazione e modalità di prova delle calce aeree vive per uso edilizio
CNR 10036/86	1988	Norme sui requisiti di accettazione e modalità di prova delle calce aeree idrate per uso edilizio
	1992	Controllo non distruttivo di manufatti metallici mediante auscultazione dell'emissione acustica.
CNR 10037/86	1992	Mensole tozze e selle Gerber.
CNR DT 4/87	1992	Effetti della temperatura nelle strutture di calcestruzzo armato. Analisi strutturale.
CNR DT 5/87	1992	Effetti delle condizioni di stagionatura sulle proprietà del calcestruzzo.
CNR 10024/86	1992	Analisi di strutture mediante elaboratore. Impostazione e redazione delle relazioni di calcolo.
CNR 10018/87	1992	Apparecchi d'appoggio in gomma e PTFE nelle costruzioni. Istruzioni per il calcolo e l'impiego. Sostituisce la Norma Tecnica n.114 del 1986
CNR 10029/87	1992	Costruzioni di acciaio ad elevata resistenza. Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione. Sostituisce la Norma Tecnica n.85 del 1981.
CNR 10030/87	1992	Anime irrigidite di travi a parete piena. Sostituisce la Norma Tecnica n.46 del 1974.
CNR DT 6/91	1994	Comportamento di strutture in conglomerato cementizio fibrorinforzato.
CNR DT 3/87	1994	Effetti della temperatura nelle strutture di calcestruzzo. Determinazione della distribuzione della temperatura.
	1994	Calcolo, costruzione e controllo degli alberi. Documento di studio.
	1994	Rilevazione delle perdite in condotte idriche con il metodo della muta correlazione.
	1995	Presentazione delle informazioni tecniche nel campo delle costruzioni meccaniche ed elettromeccaniche.
CNR 10011/97	1997	Costruzioni di acciaio. Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione. Sostituisce la Norma Tecnica n.164 - CNR 10011/86 del 1992.
CNR DT 101/96	1997	Guida all'impiego dei cementi.
CNR DT 102/97	1998	Linee guida alla progettazione di strutture di calcestruzzo confezionato con aggregati leggeri.
CNR DT 103/97	1998	Linee guida alla progettazione di strutture di calcestruzzo non armato o debolmente armato.
	1998	Correlazione tra curvatura media e curvatura locale di elementi monodimensionali in conglomerato armato.
CNR 10018	1999	Apparecchi di appoggio per le costruzioni. Istruzioni per l'impiego.
	1999	Procedure per l'esecuzione e l'interpretazione di prove di carico assiale di compressione su pali di fondazione.
	1999	Progettazione di costruzioni resistenti al fuoco.
CNR 10025/98	2000	Istruzioni per il progetto, l'esecuzione ed il controllo delle strutture prefabbricate in calcestruzzo.
CNR 10016	2000	Strutture composte di acciaio e calcestruzzo. Istruzioni per l'impiego nelle costruzioni.
CNR DT 104/98	2000	Indicazioni normative sulla resistenza e durabilità del calcestruzzo strutturale (in relazione al D.M. 9/1/96)

D17 Corrosione e Protezione



29 Giugno al 1 Luglio 2005, Senigallia, "Giornate Nazionali sulla

Corrosione e Protezione".

Questa edizione delle Giornate Nazionali sulla Corrosione e Protezione è frutto della collaborazione tra le principali associazioni che operano in Italia nel settore della corrosione e protezione dei materiali e della durabilità delle strutture. L'obiettivo è quello di presentare lo stato di sviluppo industriale e di ricerca nel settore, in tutti i principali aspetti connessi con la corrosione e protezione dei materiali, sia dal punto di vista tecnico-scientifico, sia da quello pratico-applicativo. Il programma prevede presentazioni di lavori ed esperienze che illustrino lo stato dell'arte della ricerca in Italia, le normative vigenti, le innovazioni nei vari settori oggetto dell'evento. Per questo sono coinvolti studiosi della materia e di associazioni che giorno dopo giorno affrontano problematiche inerenti la corrosione e la protezione dei materiali. La scelta non è casuale, poiché le Marche si trovano al centro di un sistema imprenditoriale in forte espansione con derivazioni in settori estremamente interessati a problemi di corrosione quali quello della cantieristica navale, della produzione degli elettrodomestici e della carta, della meccanica in generale, nonché di affermate società di progettazione operanti nel territorio. L'evento è un'occasione di incontro tra studiosi della materia ed operatori del settore, affinché l'esperienza di ognuno costituisca ricchezza di informazione, possibilità di collaborazione, stimolo e crescita per tutti. Nell'ambito della manifestazione è previsto uno spazio per la mostra di apparecchiature, per la presentazione dei servizi e per la distribuzione di materiale promozionale. Le Giornate Nazionali Corrosione e Protezione si svolgeranno a Senigallia, nelle Marche, presso il "Finis Africae Country House", un moderno centro congressi che dista circa 1 Km dal casello autostradale (A14) e dal mare. Gli interessati a presentare memorie scientifiche dovranno inviare titolo, autori e sommario (circa 500 parole) **entro e non oltre il 31 gennaio 2005**. La notifica accettazione avverrà il **28 febbraio 2005**. I testi completi dovranno essere inviati entro il **15 aprile 2005**.

Per ulteriori informazioni rivolgersi alla segreteria AIM oppure visitare il sito www.aimnet.it/allpdf/corrosione.pdf

D18 Incontro acciaio inossidabile

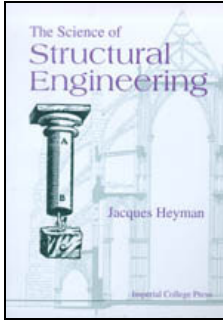


11 Novembre 2004, Milano, ore 8.30-13.00 presso il

Circolo Culturale "I Navigli" - Via De Amicis 17. Una tendenza sempre più marcata negli ultimi anni, nel settore dell'edilizia è quella di considerare gli acciai inossidabili non solamente quali materiali resistenti alla corrosione ma soprattutto come veri e propri elementi strutturali. In quest'ottica un ruolo importante riveste, come componente, il tondo inox ad aderenza migliorata per calcestruzzo. Questo incontro ha lo scopo di portare a conoscenza ad un pubblico tecnico del settore delle costruzioni, le caratteristiche fisiche, meccaniche e di resistenza alla corrosione del materiale nonché alcune tipiche applicazioni e la normativa esistente. A tutti i partecipanti saranno distribuite le memorie dell'incontro e documentazione tecnica del Centro Inox.

La partecipazione all'incontro sarà libera e gratuita. E' necessario inviare via fax o via email la propria adesione. fax 02.860986, email: eventi@centroinox.it

L24 La scienza dell'ingegneria strutturale



The Science of Structural Engineering

Jacques Heyman
ISBN 1-86094-189-3
120 pagine
Novembre 1999
World Scientific

- IL MANUALE

Le strutture non possono essere create senza una teoria ingegneristica e regole di progetto sono esistite dai primi tempi per i templi greci, gli acquedotti romani e le cattedrali gotiche .

Questo libro non tratta la descrizione di fatti storici ma del modo in cui gli ingegneri civili si sono occupati della loro materia. Galileo, nel XVII sec. è stato il primo ad introdurre una scienza moderna nel calcolo delle strutture; egli determinò la resistenza di rottura delle travi. Nel XVIII sec. gli ingegneri andarono oltre questo approccio al “carico ultimo” e in seguito nel XIX sec. è stata stabilita una filosofia formale di progettazione – una struttura deve rimanere elastica, con un fattore di sicurezza insito nell’analisi. Questa filosofia è rimasta salda per tutto il secolo, fino ai primi testi sulle strutture i quali mostrarono che le tensioni calcolate facilmente dai progettisti non erano riscontrate nella pratica. L’ingegneria strutturale ha seguito un approccio completamente differente dalla metà del ventesimo secolo; l’analisi plastica ha ripreso l’obiettivo di Galileo del calcolo della resistenza ultima e nuove potenti teorie supportano attualmente le attività dell’ingegnere strutturista.

Il libro tratta di argomenti tecnici ma la presentazione non è matematica. E’ adeguato ad ingegneri, architetti ed appassionati di principi di progettazione strutturale.

- INDICE DEI CONTENUTI

Ingegnere civile.

Teoria pre scientifica.

Ponti ad arco, case e volte.

Tensioni e deformazioni.

Flessione ed instabilità.

Teoria delle strutture.

Teoria plastica.