SEISTEC

MIGLIORAMENTO SISMICO CON LA TECNOLOGIA CINTEC

Miglioramento Sismico Con La Tecnologia Cintec

L'efficacia e la versatilità del sistema di ancoraggio Cintec, specifico per il consolidamento e rinforzo delle strutture in muratura, sono riconosciute dai tecnici che operano nel settore del restauro storico ed architettonico e nel recupero dell'edilizia tradizionale: le caratteristiche degli ancoraggi Cintec sono infatti definite sulla base del progetto e permettono varianti che incontrano i requisiti specifici di ogni applicazione. In anni recenti sono stati sviluppati approfonditi studi e ricerche sul contributo che le ancore Cintec possono offrire nel campo del miglioramento sismico, restando tuttavia sensibili alle caratteristiche architettoniche originarie, compatibilmente con le esigenze del restauro conservativo.

Il sistema di rinforzo Cintec è costituito da una barra in acciaio avvolta da una speciale calza in tessuto poliestere nella quale vengono iniettate, a bassa pressione, speciali malte consolidanti. La malta liquida Presstec standard è una miscela che può essere costituita da un legante con caratteristiche simili al cemento Portland, "Presstec standard" oppure a base di calce, studiata appositamente per garantire la compatibilità con il materiale originario e la resistenza richiesta. Il legante unito ad aggregati di differente granulometria e miscelato con acqua, produce una malta iniettabile, a ritiro controllato. L'installazione delle ancore consiste nell'inserimento in fori realizzati mediante perforazioni eseguite con carotatici con sonde diamantate, con tecnologia a secco o con raffreddamento ad acqua. La calza in tessuto poliestere contiene il materiale iniettato, evitando imprevedibili e spesso dannose dispersioni in vuoti e cavità che possono essere sempre presenti nelle strutture murarie esistenti e si espande fino ad adattarsi al diametro del foro ed alla conformazione del substrato, offrendo un forte legame di tipo meccanico e chimico su tutta la lunghezza dell'ancora, senza la necessità di inserire piastre di ancoraggio all'esterno della struttura. Le dimensioni ed il tipo di barre, la qualità dell'acciaio, la resistenza della malta e il diametro del foro sono definite in base ai parametri del progetto e permettono di raggiungere i migliori risultati dal punto di vista tecnico, nel completo rispetto del manufatto esistente.

La tecnica di perforazione con funzionamento a sola rotazione permette, tramite l'estrazione di una carota, di creare la sede per il posizionamento dell'ancora.

L'installazione di ancore Cintec accresce la ridondanza di un edificio sottoposto ad azioni sismiche: ciò implica che il collasso di un particolare elemento strutturale non comporta il totale collasso dell'edificio.
Le caratteristiche delle ancore permettono di sopportare, grazie alla distribuzione degli sforzi su elevate lunghezze, forze di notevole intensità senza raggiungere il collasso e inducendo basse tensioni nella muratura.
A seconda dell'entità delle azioni sismiche considerate e dalla natura dell'edificio potranno essere previste nel progetto di intervento ancore con caratteristiche dimensioni e in numero tale da:

- migliorare il comportamento globale dell'edificio
- migliorare la connessione tra le pareti
- limitare le deformazioni fuori piano delle pareti
- migliorare la connessione tra strutture orizzontali (solai, coperture) e verticali, favorendo il trasferimento tra impalcato e muratura delle azioni orizzontali dovute al sisma
- contenere le azioni esercitate da elementi costruttivi naturalmente spingenti

La resistenza a trazione e a taglio può essere verificata con prove di laboratorio o in sito.

La Ricerca & Lo Sviluppo

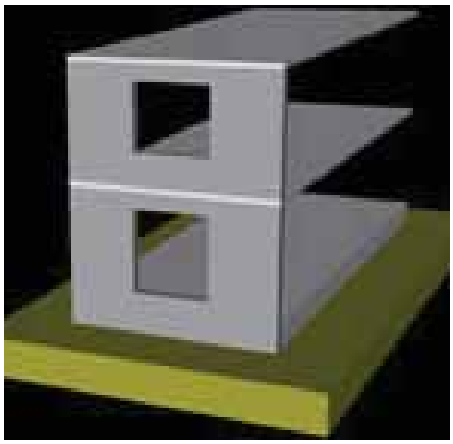
Le ricerca e la sperimentazione per l'applicazione della tecnologia Cintec nel campo del miglioramento e del rinforzo antisismico sono supportate da studi effettuati con avanzate tecniche di modellazione computerizzata che, utilizzando la tecnica degli elementi finiti, simulano il comportamento delle strutture sotto l'azione del sisma, per individuarne le modalità prevalenti di collasso e l'efficacia degli interventi di rinforzo.

L'utilizzo di tali metodologie di indagine in relazione a strutture storiche richiede particolari attenzioni soprattutto in merito al tipo di schematizzazioni adottate.
La simulazione di strutture discontinue, come la muratura, con modelli numerici continui in cui la struttura viene rappresentata con un modello costituito da un materiale perfettamente omogeneo ed isotropo, senza irregolarità geometriche, non permette una adeguata interpretazione del comportamento reale e non costituisce dunque un valido strumento di analisi su cui basare le sperimentazioni. Difficilmente questi modelli riescono a simulare i vincoli mutui tra le varie parti che costituiscono la struttura e a cogliere tutti i meccanismi di collasso delle strutture reali.

Fase di realizzazione della modellazione ad elementi finiti.

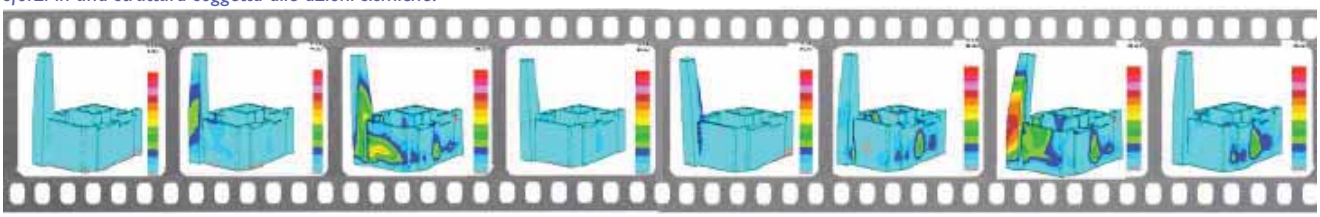
Effetto delle azioni dovute al sisma su un modello non rinforzato. Diverse configurazioni di rinforzo vengono simulate e studiate per giungere a definire la configurazione ottimale.

Per ovviare tali inconvenienti, intrinsechi al metodo stesso, Cintec, lavorando in stretta collaborazione con ingegneri consulenti, utilizza tecniche di modellazione ad elementi discontinui: un avanzato software è stato adattato per poter studiare il comportamento di strutture in muratura con caratteristiche differenti: l'analisi a macro blocchi non considera la resistenza in corrispondenza dei giunti, condizione che si riscontra solitamente nelle strutture storiche; secondo la schematizzazione con materiali di tipo fragile i blocchi e i giunti sono caratterizzati da resistenze simili, condizione tipica dei moderni sistemi di costruzione; utilizzando un approccio con struttura a macro blocchi ma con materiale fragile che permette la simulazione delle lesioni.
Le modellazioni permettono di individuare i meccanismi di collasso delle strutture soggette alle azioni del sima e di valutare l'effettiva efficacia, in termini di miglioramento antisismico, degli interventi progettati confrontando i risultati ottenuti dalle stesse analisi ripetute dopo aver introdotto nel modello matematico gli elementi strutturali di rinforzo previsti. Le ancore sono progettate come sistema di consolidamento passivo che entra in azione quando sollecitato da un evento sismico ed allo stesso tempo permettono di legare le murature ed incrementare le caratteristiche di aderenza e di resistenza agli sforzi assiali e di scorrimento su tutta la lunghezza. Diverse configurazioni di rinforzo vengono simulate e studiate per raggiungere la massima capacità di resistenza e per conferire la massima duttilità alla struttura considerata.
Le ancore possono essere posizionate orizzontalmente, verticalmente e secondo le diagonali o in soluzioni combinate.



Tipica modellazione del comportamento ideale di un edificio.

Animazione computerizzata che permette di visualizzare la potenziale distribuzione degli sforzi in una struttura soggetta alle azioni sismiche.



Prove Sperimentali

I risultati teorici ottenuti con simulazioni computerizzate sono stati verificati con una serie di test effettuati in sito e in laboratorio. L'impiego di ancore Cintec per il consolidamento di ponti ad arco in muratura è stato studiato con, l'utilizzo di modellazioni ad elementi finiti per la determinazione del carico di collasso. I risultati ottenuti sono stati confermati da una prova di laboratorio su un ponte ricostruito in scala reale al Transport Research Laboratory in Gran Bretagna.

Prova di carico su un ponte ad arco in muratura ricostruito in scala reale in laboratorio. In seguito al collasso, raggiunto con un carico doppio di quello sopportato dal ponte non rinforzato, è caduto l'anello inferiore di mattoni mettendo in evidenza le ancore di rinforzo disposte tangenzialmente alla superficie del ponte.

Test di resistenza alle azioni sismiche condotti presso i laboratori del Joint Research Centre di Ispra in Italia.

Test specifici per lo studio del comportamento della ancore Cintec per applicazioni nell'ambito del miglioramento sismico sono stati condotti presso i laboratori del Joint Research Centre in Italia. Prove pseudo-dinamiche e test ciclici sono stati effettuati su un modello in scala reale dei parte del Chiostro del Monastero di Sao Vincente de Fora a Lisbona in Portogallo. La ricerca è stata condotta allo scopo di interpretare il comportamento non lineare di strutture a blocchi in pietra sottoposte ad azioni sismiche e per valutare l'efficacia del rinforzo con ancore Cintec. I test hanno messo in evidenza l'efficacia di questo tipo di rinforzo in termini di incremento della capacità di deformazione e di resistenza del modello strutturale studiato risultando le lesioni "meglio distribuite" all'interno della struttura.

Test pratici sono anche stati condotti all'Università di Southampton in Gran Bretagna: si tratta di prove effettuate con strumenti capaci di sollecitare con forti azioni orizzontali la struttura al fine di verificare e confrontare il comportamento prima e dopo l'inserimento di ancore di rinforzo . Le conclusioni hanno evidenziato che le ancore Cintec migliorano in modo significativo il comportamento delle strutture in muratura sottoposte ad azioni dinamiche orizzontali.

Test di resistenza alle azioni sismiche condotti all'Università di Southampton in Gran Bretagna hanno mostrato l'efficacia delle ancore Cintec.

Tried & Tested

BRE

TRL

Conseguenze del terremoto

I dissesti strutturali causati da un terremoto in un'area urbana sono spesso aggravati da incendi scaturiti come immediata conseguenza; molte delle strutture che hanno superato lo shock iniziale possono essere successivamente distrutte. Prove distruttive al fuoco condotte al Building Research Establishment (BRE) in Gran Bretagna hanno permesso di confrontare il comportamento delle ancore Cintec iniettate con malta cementizia con sistemi di rinforzo ad espansione e con resina tutti esposti a temperature di 1200°C. Durante le prove le barre con resina hanno ceduto in media dopo mezz'ora di esposizione al calore. Gli ancoraggi metallici ad espansione sono stati in grado di resistere per un'ulteriore ora ma con il rischio di un collasso prematuro se non sufficientemente serrati. I migliori risultati sono stati raggiunti dalle ancore Cintec capaci di resistere almeno per due ore ed è stato provato che questo lasso di tempo, in cui viene mantenuta l'integrità strutturale dell'edificio, è sufficiente per controllare l'incendio.

Trial by fire

Ancore Cintec sono state installate nella vecchia fabbrica di birra Fullers a Londra. Un incendio ha distrutto successivamente l'interno dell'edificio.

Sebbene soggette a temperature estremamente elevate, le ancore sono rimaste intatte e prove di estrazione hanno dimostrato che erano ancora rispondenti alle prestazioni originarie di progetto. Nelle zone in cui sono state installate le ancore Cintec non sono state registrate lesioni. I risultati ottenuti hanno dimostrato che tali ancore hanno avuto la funzione di consolidare la muratura delaminata dal calore e hanno costituito un rinforzo interno alla muratura capace di impedire il rischio di un ulteriore collasso.

Fabbrica di birra Fullers: prove di estrazione hanno dimostrato che anche le ancore Cintec installate nelle pareti più danneggiate avevano mantenuto le caratteristiche iniziali e le prestazioni attese.

Case History: Newport Heights Elementary School.

La costruzione della scuola elementare di Newport, Washington, risale ai primi anni '60, molto prima che entrassero in vigore i codici per le costruzioni in zona sismica adottati negli Stati Uniti. Sebbene il sistema di copertura dell'edificio ad un piano fosse stato ben progettato e ben costruito, tutte le strutture perimetrali esterne erano costituite da pareti in calcestruzzo con riempimento in laterizio (CMU). Queste pareti non erano mai state ancorate al telaio principale costituente la struttura o rinforzate in modo tale da poter contrastare le azioni nel piano e fuori-piano; inoltre le intercapedini cave all'interno dei blocchi no erano state riempite con materiale iniettato. Per evitare il rischio di collasso durante un evento sismico era indubbiamente necessario un intervento di rinforzo. Per mantenere inalterato lo spazio utilizzabile sono state previste, per il rinforzo delle murature, delle barre di sostegno in acciaio ancorate alla soletta del pavimento ed alla struttura del tetto con sistemi di fissaggio standard. La connessione tra le barre di rinforzo e gli elementi cavi costituenti le pareti è stata realizzata nel modo seguente: era necessaria un'ancora che potesse essere inserita attraverso un piccolo foro dentro l'intercapedine cava e che potesse successivamente essere riempita con malta (evitando di riempire l'intera intercapedine) ancorando infine la barra di sostegno con una testa filettata. Cintec ha sviluppato un ancoraggio che rispondesse alle esigenze specifiche del progetto. Un certo numero di dispositivi di ancoraggio è stato preventivamente testato ma solo le ancore Cintec sono state capaci di sopportare i carichi richiesti oltre a garantire rapidità e semplicità di installazione.

Case History: Christ Church Cathedral

Nel 1989 un fortissimo terremoto si scatenò a soli 14 km al di sotto della superficie di Newcastle nel South Wales in Australia. Il suo effetto sulla cattedrale fu così devastante da far temere che fosse necessario demolire e successivamente ricostruire gran parte delle strutture danneggiate. Una soluzione alternativa si presentò agli ingegneri consulenti incaricati della progettazione degli interventi di ricostruzione venuti a conoscenza del sistema di ancoraggio Cintec specifico per strutture in muratura, prima di allora sconosciuto in Australia; in seguito a numerose prove di installazione e verifiche tutti i tecnici concordarono che quella era l'unica pos-

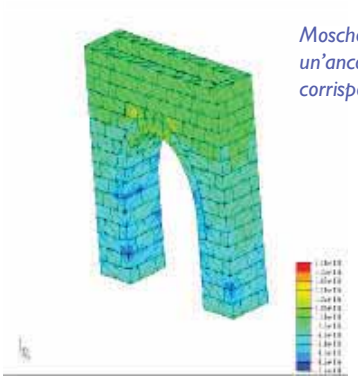
sibilità per realizzare il rinforzo della cattedrale. Il primo obiettivo del progetto strutturale è stato quello di trasformare l'edificio in una struttura duttile, essendo proprio stata la mancanza di duttilità la principale causa del catastrofico collasso dell'edificio durante il terremoto. Un'analisi ad elementi finiti bidimensionali è stata effettuata per giungere ad una interpretazione del comportamento della struttura durante eventuali futuri eventi sismici. Diverse modellazioni hanno permesso di definire la lunghezza, il diametro e la disposizione delle ancore in modo da rispondere alle esigenze della progettazione: sono state installate ancore di rinforzo Cintec per un totale di 3770 metri.

Christ Church Cathedral: installazione con gru di un'ancora verticale lunga venti metri. Per la realizzazione dell'intervento sono state inserite ancore orizzontali con lunghezze fino a trentadue metri. Piccole videocamere e fibre ottiche hanno permesso di verificare l'integrità dei fori e di seguire l'installazione delle ancore su tutta la lunghezza.

Case History: La Moschea di al-Ghuri

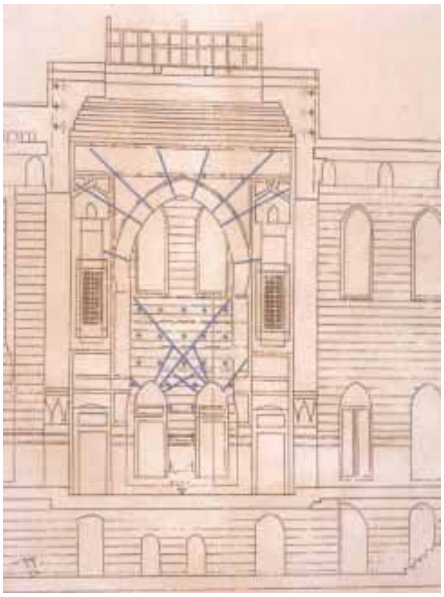
Nel 1992 un terremoto approssimativamente del sesto grado della scala Ritter si è verificato a 30 km a sud-ovest del Cairo. L'epicentro era collocato vicino alla superficie e la sua relativamente alta frequenza ha comportato una intensificazione dei danni anche sulle strutture più basse. La costruzione della moschea del Sultano al-Ghuri risale al 1504 AD. Le strutture della moschea, sopravvissute per 500 anni, hanno raggiunto a causa del terremoto, avvenuto nell'Ottobre del 1992 e del grave stato di abbandono, una precaria condizione di equilibrio. I danni più comuni hanno interessato la separazione delle pareti perpendicolari, che si è manifestata con ampie lesioni verticali, l'apertura degli archi e il distacco di conci, assestamenti del terreno, rottura delle connessioni tra copertura e pareti verticali e conseguente perdita di integrità delle strutture.

Moschea di al-Ghuri: installazione di un'ancora verticale lunga 5 metri in corrispondenza della copertura.



Moschea di al-Ghuri: modellazione computerizzata di una struttura con passaggio ad arco.

Lavorando in cooperazione con l'Egyptian Antiquities Organisations è stata presa la decisione di intervenire con la tecnologia Cintec per ripristinare l'integrità strutturale e garantire una maggiore duttilità all'edificio, migliorando la risposta ad eventuali nuove azioni sismiche. L'intervento sulle strutture in elevazione che, sviluppandosi anche su notevoli altezze, erano vulnerabili alle azioni orizzontali causate dal sisma, è stato realizzato mediante l'inserimento di ancore Cintec con lunghezze fino a 12m., anche in verticale; il consolidamento ha interessato anche la maggior parte delle aperture costituenti un punto di debolezza nella struttura: trattandosi per la maggior parte di grandi aperture ad arco sono state inserite ancore radiali e ancore trasversali allo scopo di garantire l'equilibrio delle strutture ed incrementarne la resistenza. Ancore di connessione tra la struttura della copertura e le pareti perimetrali hanno permesso di creare un "effetto diaframma" per il contenimento delle azioni orizzontali.



Moschea di al-Ghuri: schemi di progetto per il posizionamento delle ancore in corrispondenza delle aperture ad arco.

United States

Cintec America Inc.
200 International Circle, Suite 5100,
Hunt Valley, Maryland
21030, USA
Tel: 1 410 761-0765
1 800 363-6066
Fax: 1 800 461-1862
E-mail: solutions@cintec.com

Canada

Cintec Reinforcement Systems
38 Auriga Drive, Suite 200
Nepean, Ontario, Canada
K2E 8A5
Tel: (1) 613 225-3381
Fax: (1) 613 224-9042
E-mail: solutions@cintec.com

United Kingdom

Cintec International Ltd.
Cintec House
11 Gold Tops
South Wales, UK
Newport NP204PH
Tel: +44 (0) 1633 246614
Fax: +44 (0) 1633 246110
E-mail: hqcintec@cintec.co.uk

CINTEC
REINFORCEMENT SYSTEMS
www.cintec.com