

Il metodo dell'Impact Echo per la valutazione dello stato di DEGRADO DI STRUTTURE IN C.A.P.

EDOARDO PROVERBIO, GABRIELLA EPASTO, VINCENZO VENTURI

I controlli non distruttivi stanno assumendo sempre più un ruolo chiave per la diagnosi ed il controllo delle strutture in c.a.p., ed in particolare per le strutture post-tese, che sono soggette a particolari fenomeni di degrado legati a difetti di intasamento dei condotti di alloggiamento dei cavi di post-tensionamento. Tra le tecnologie emergenti, quella dell'IE mostra le maggiori potenzialità, sia per la completezza delle informazioni ottenibili che per il basso costo e la facilità d'impiego

Introduzione

I primi esempi di applicazione della precompressione ad elementi strutturali in calcestruzzo risalgono agli inizi degli anni quaranta [1] ed un notevole impulso nell'impiego di questa tecnica in Italia si è avuto con la realizzazione, negli anni settanta, delle grandi opere autostradali. Tuttavia, proprio su queste grandi opere vi sono ai giorni nostri continui interventi di consolidamento strutturale che comportano costi rilevanti per l'Ente gestore e notevoli disagi per l'utenza. È pertanto, necessaria una riflessione sul comportamento nel tempo delle strutture post-tese nei confronti della durabilità. Nonostante la qualità del calcestruzzo impiegato in precompressione sia generalmente ottima, il degrado del calcestruzzo e la corrosione dell'armatura (sia

lenta sia tesa) possono generare grossi problemi di affidabilità delle strutture. La capacità di resistere degli elementi precompressi o post-tesi è affidata interamente alla capacità dell'armatura (cavi o trefoli in acciaio ad alto limite elastico) di mantenere compressa la sezione resistente in calcestruzzo. La mancanza o l'insufficienza del copriferro e della protezione alcalina del calcestruzzo e/o della malta di iniezione (dall'inizio od in conseguenza di fenomeni di carbonatazione e/o di depassivazione dell'acciaio per elevate concentrazioni di cloruri) sono le principali cause del danneggiamento dell'armatura. Le strutture post-tese a conci prefabbricati sono state usate frequentemente nel passato per la loro facilità di esecuzione, la loro flessibilità,

per la loro struttura modulare e per alcuni vantaggi economici rispetto ad altre scelte progettuali. Tali strutture sono, però, soggette ad una serie di problemi legati alla possibile presenza di vuoti all'interno delle guaine di alloggiamento dei cavi di post-tensionamento, nonché alla criticità dei giunti tra un concio e l'altro. Il riempimento non completo delle guaine può favorire la raccolta ed il ristagno di acqua nei vuoti, che a sua volta favorisce l'insorgere di pericolosi fenomeni corrosivi dei cavi e può essere la causa del collasso dell'intera struttura [2]. Il problema non è solo italiano ma è largamente diffuso in tutto il mondo. Il Dipartimento dei Trasporti Americano ha dichiarato che oltre il 40% dei ponti presenti negli Stati Uniti può essere

considerato a rischio, con costi previsti per il ripristino dell'ordine dei miliardi di dollari [3].

Nel tempo sono state proposte diverse metodologie per il monitoraggio ed il controllo di ponti in c.a.p., quali ad esempio indagini visive, meccaniche, elettrochimiche e chimiche. Queste tecniche presentano, però, alcuni svantaggi: sono laboriose, distruttive, richiedono che l'armatura sia scoperta e talvolta necessitano l'impiego di attrezzature poco agevoli da utilizzare in situ. Attualmente, le tecniche non distruttive più utilizzate negli

Stati Uniti per il controllo delle strutture post-tese sono: l'Impact Echo (Sansalone e Street, 1997), il Ground Penetrating Radar (Warhus, Mast and Nelson, 1995), gli Ultrasuoni (ASTM C597) e l'analisi spettrale delle onde di superficie (Nazarian e Stokoe, 1989). Queste tecniche vengono utilizzate per localizzare vuoti e difetti, elementi strutturali come armature o trefoli o per rilevare difetti costruttivi e danni provenienti dalla presenza di fenomeni corrosivi.

Nel presente lavoro sono illustrati i principi di funzionamento della tecni-

ca di IE, con evidenza dei pregi e dei limiti rispetto ad altre tecniche di indagine. Sono, inoltre, illustrati a titolo di esempio, i risultati ottenuti durante una campagna d'indagine volta a valutare lo stato di degrado di un viadotto in c.a.p a conci prefabbricati. È stata scelta tale metodologia per la semplicità di impiego in situ, perché esiste una procedura d'indagine ben definita e, soprattutto, perché è assolutamente non invasiva.

Il metodo dell'eco da impatto (Impact Echo)

L'Impact Echo è una tecnica di indagine non distruttiva applicabile su calcestruzzi e murature. Il principio di funzionamento è basato sull'analisi di un'onda elastica transiente generata dall'impatto di una sferetta d'acciaio sulla superficie della struttura. Tale onda si propaga nel solido secondo tre diverse tipologie: Onde P, Onde S e Onde R.

Le Onde di tipo P e quelle di tipo S si propagano nel solido con fronti d'onda sferici. Le onde P sono associate alla propagazione degli sforzi in direzione normale, sono infatti dette onde di pressione, mentre le onde S sono associate alla propagazione degli sforzi in senso tangenziale (onde di taglio). Le onde R invece sono quelle che si disperdono in direzione ortogonale alla direzione dell'impatto e quindi lungo la superficie del solido (onde di Rayleigh). Il contributo di quest'ultime al segnale analizzato può essere rilevante e portare quindi a non corrette interpretazioni dei risultati. Per tale motivo spesso è utile ricorrere a filtri che consentono di tagliare il contributo delle onde R.

La velocità delle onde P in un mezzo infinito e isotropo a comportamento elastico lineare, è data dalla seguente relazione:

$$V_p = \sqrt{\frac{E}{\rho} * \frac{(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}} = \frac{V_{pp}}{\beta} \quad (1)$$

dove V_p è la velocità effettiva delle onde P, mentre V_{pp} è quella apparente, β è un



coefficiente che dipende dal rapporto d'aspetto del solido in esame, ν è il coefficiente di Poisson (per il calcestruzzo si può assumere pari a 0.2), E è il modulo di Young e ρ è la densità del calcestruzzo in esame. La diversità tra le velocità V_p e V_{pp} dipende dal fatto che le riflessioni multiple delle onde P eccitano un particolare modo vibrazionale della lastra, quello dovuto allo spessore, e gli spostamenti causati da questo modo di vibrare producono i principali modelli periodici nella forma d'onda.

Le onde P sono riflesse da difetti interni del materiale (a causa della differenza di impedenza acustica) o dai bordi esterni. Quando le onde riflesse, o eco, ritornano alla superficie, esse producono spostamenti, che vengono a loro volta rilevati da un trasduttore di spostamento piezoelettrico. Se il trasduttore è posto vicino al punto d'impatto, registra una forma d'onda in cui gli spostamenti repentini iniziali ad ampiezza più elevata sono dovuti alle onde R, mentre la serie di spostamenti continui successivi sono dovuti alle onde P.

Lo studio del segnale registrato viene effettuato nel dominio delle frequenze. Lo spettro in frequenza è ottenuto dall'applicazione della Trasformata di Fourier (FFT) al segnale nel dominio del tempo. La frequenza delle onde P è data dalla seguente relazione:

$$f_T = \frac{\beta V_p}{2T} \quad (2)$$

che rappresenta l'equazione fondamentale dell'Impact Echo, ove V_p è la velocità delle onde P e T è lo spessore del solido oggetto di indagine. Questa frequenza viene chiamata Plate Thickness Frequency. Con la stessa equazione si può ricavare, dalla formula inversa e noti f e V_p , lo spessore.

Se nella sezione è presente un difetto avente dimensione laterale r , nello spettro si noteranno due picchi di frequenza (fig. 1b). Il primo (f_r) è dovuto al modo di vibrare della sezione solida di spessore T , mentre il secondo picco di frequenza (f_d) è legato alla profondità cui si trova

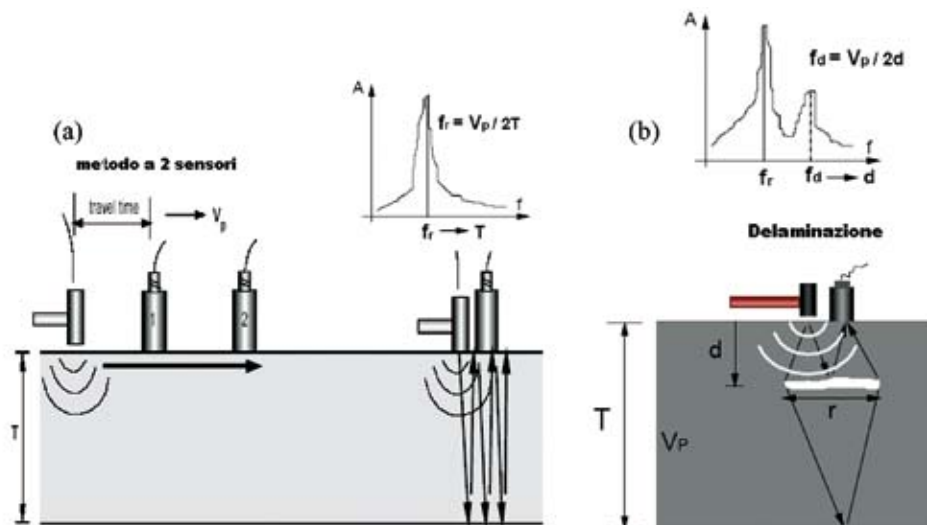


Figura 1 - Schematizzazione del funzionamento della tecnica di Impact Echo [4]

il difetto. La presenza di un difetto alla profondità d è anche causa di un leggero shift del primo picco di frequenza, verso un valore inferiore. Tale comportamento è dovuto al fatto che, a causa della presenza del difetto, la sezione perde rigidità e quindi la pulsazione propria del solido subisce una variazione.

La durata dell'impatto (t_c) della sferetta sulla superficie di calcestruzzo ha influenza sia sulla lunghezza d'onda della forma d'onda generata sia sulla dimensione minima delle discontinuità o difetti rilevabili. Possono essere rilevati solo difetti che hanno una dimensione laterale maggiore della lunghezza d'onda suddetta. Per tale ragione, è importante scegliere il corretto impattore, coerente con la dimensione del difetto da rilevare. La dimensione dell'impattore, inoltre, influenza il valore massimo della frequenza rilevabile (f_{max}).

Se nella sezione solida è contenuta una guaina di post-tensionamento ben intasata con boiaccia, la frequenza dell'onda

riflessa è data dalle seguente relazione:

$$f_{steel} \approx \frac{V_p}{4d} \quad (3)$$

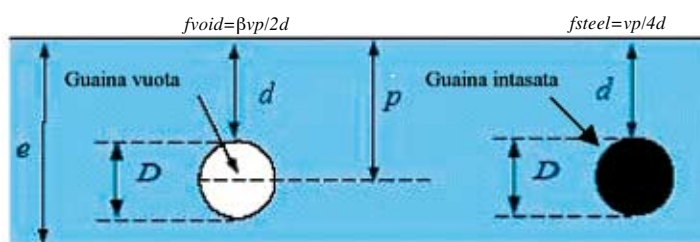
dove d è la profondità della guaina; mentre la f_T mantiene lo stesso valore (fig. 2).

Se la guaina non è affatto intasata, la f_T subisce un leggero shift a frequenze inferiori e la frequenza dell'onda riflessa dalla guaina vuota sarà pari a (fig. 2):

$$f_{void} \approx \frac{\beta V_p}{2d} \quad (4)$$

Numerosi studi hanno rilevato che tale tecnica permette di rilevare vuoti nelle guaine di post-tensionamento. È possibile rilevare anche vespai, delaminazione, vuoti o calcestruzzo di scarsa qualità. Inizialmente la tecnica è stata utilizzata su campioni da laboratorio al fine di validare modelli agli elementi finiti di geometrie semplici [6, 7] e al fine di "calibrare" l'apparato sperimentale su modelli aventi difettosità nota. In tempi

Figura 2 - Applicazione del metodo Impact Echo per ispezionare guaine di post-tensionamento [5]



anche recenti la tecnica è stata applicata in campo su solette [8] e su viadotti [9-10].

Sino ad oggi la tecnica Impact Echo ha avuto scarsa applicazione in Italia, in parte perché poco conosciuta e in parte perché si preferisce ad essa la tecnica degli ultrasuoni. A differenza del metodo ultrasonico, l'Impact Echo utilizza onde elastiche di frequenza più bassa. L'uso di frequenze più basse fa sì che l'Impact Echo non presenti problemi legati allo smorzamento del segnale come invece accade frequentemente con i metodi ultrasonici. Inoltre, secondo recenti studi, il metodo IE fornisce delle informazioni più esatte sulla profondità di un difetto, soprattutto quando il calcestruzzo è ancora "giovane" [11]. È pur vero che l'attrezzatura per effettuare la misura della velocità di propagazione degli ultrasuoni è generalmente economica, ma è anche vero che le informazioni che si ottengono non sono sempre precise e riproducibili in modo bidimensionale come i dati ac-

quisiti con la tecnica Impact Echo. Uno dei vantaggi maggiormente apprezzati della tecnica Impact Echo sta anche nel fatto che è possibile eseguire le prove accedendo ad una sola superficie occorre accedere solo da una superficie per acquisire i dati e non da due, come invece è preferibile per le indagini ultrasoniche. Di uguale efficacia alla tecnica IE è la gammagrafia che consente di acquisire informazioni precise sullo stato dei cavi e del riempimento; questa tecnica presenta, come controindicazione, l'utilizzo di attrezzature costose e di non facile impiego, oltre alle prescrizioni cui è soggetta per il trasporto e la protezione degli operatori.

Un esempio di applicazione

La tecnica di IE è stata utilizzata con successo in una campagna di indagini

effettuate sul viadotto D'Agrò. Il viadotto, sito sulla S.S. 114 nella tratta che collega la città di Messina con Catania, è stato progettato nel luglio 1954 dall'Ing. Riccardo Morandi e costruito nel corso dell'anno 1955.

Il manufatto, realizzato in calcestruzzo armato precompresso, è costituito da 13 campate, poggianti su 12 pile e 2 spalle, per una lunghezza complessiva dell'opera pari a 287 m. L'impalcato, del tipo a travata semplicemente appoggiata, è costituito da 5 travi a cassone chiuso in c.a.p. a sezione cava pressoché trapezoidale con altezza di 0.90 m ed è irrigidito da 4 trasversi in c.a. e da una soletta superiore di sutura costituente il piano stradale che si protende a sbalzo sui marciapiedi.

Le travi degli impalcati interni sono

Figura 3 - Vista d'insieme del viadotto



costituite da 9 conci prefabbricati (fig. 4), mentre quelle della prima e ultima campata da 7 conci. Per quanto attiene al sistema di costruzione dell'opera, essa è stata realizzata con il cosiddetto "sistema Morandi" di precompressione a cavi post-tesi [12].

Per studiare tale struttura è stata preliminarmente definita la numerazione degli elementi e la suddivisione degli stessi in elementi omogenei, tenendo conto delle seguenti indicazioni (fig. 6): gli impalcanti sono stati numerati in ordine progressivo nella direzione di marcia Messina - Catania, di modo che in appoggio alla spalla lato Messina si ha la campata 1, mentre in appoggio alla spalla lato Catania si ha il tredicesimo impalcato. Le travi sono state numerate da 1 a 5 seguendo l'ordine



Figura 4 - Particolare di un modulo in una trave a cassone

che va da mare verso monte per l'osservatore posto con le spalle rivolte verso l'origine. Per ogni trave si è tracciato in ciascuna scheda un reticolo, dove i conci sono stati denominati con lettere alfabetiche seguendo la direzione di marcia.

Le travi constano di nove conci indicati con le lettere da A ad I. Il reticolo in figura 6 riporta l'intradosso delle singole travi e le due superfici laterali lato mare (sinistra) e lato monte (destra).

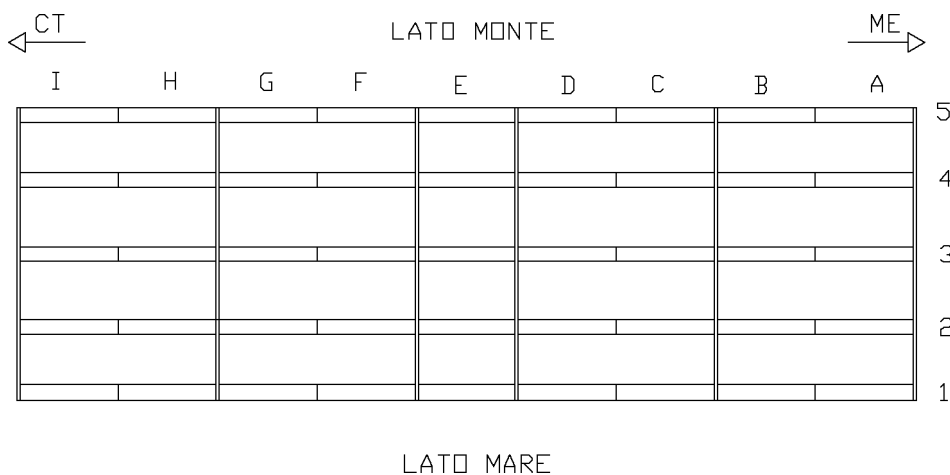
Lo stato di degrado della struttura

Un sopralluogo sul viadotto ha permesso di evidenziare lo stato di degrado in cui versano gli



Figura 5 - Fase di posizionamento di una trave (foto d'epoca)

Figura 6 - Schematizzazione dell'impalcato tipo (vista in pianta)



elementi strutturali dello stesso. L'ambiente in cui è posta la struttura è particolarmente aggressivo e riconducibile alla classe d'esposizione XS1 secondo la UNI EN 206-1. La buona riuscita del metodo costruttivo con cui il viadotto è stato realizzato dipendeva dal fatto che i fori di alloggiamento dei cavi realizzati nei singoli conci fossero perfettamente combacianti tra loro. Infatti, gran parte dei difetti riscontrati è stata localizzata lungo i condotti dei cavi di post-tensionamento, in coincidenza dei giunti di sutura dei conci. Subito dopo la delicata operazione di posa in opera dei singoli conci si provvedeva ad iniettare la boiaccia nei fori di alloggiamento. Spesso accadeva che non risultando i fori perfettamente allineati durante l'iniezione, la boiaccia si disperdeva creando vuoti e discontinuità nel condotto, rendendo così i trefoli vulnerabili agli agenti aggressivi meteorici ed ambientali, anche in conseguenza di un copriferro assolutamente inadeguato



Figura 7 - Particolare delle fessure rilevate

alla classe di esposizione XS1. Quanto descritto è da ritenersi la causa del generale degrado del manufatto, ma soprattutto, dell'innescò del quadro fessurativo di cui maggiore evidenza hanno le fessure longitudinali (fig. 7). Tali fessure sono spesso accompagnate dalla presenza di efflorescenze carbonatiche (fig. 8) localizzate in corrispondenza degli alloggiamenti dei cavi di post-tensionamento. In alcuni punti si è rilevato anche spalling con la conseguente espo-



Figura 8 - Lesione con essudazione di prodotti carbonatici

sizione diretta dei cavi agli agenti atmosferici (fig. 9).

La campagna d'indagine strumentale

Grazie alle ispezioni visive precedentemente descritte, sono state localizzate sul viadotto alcune zone gravemente ammalorate sulle quali si è deciso di effettuare una campagna d'indagine con l'ausilio della tecnica Impact Echo. In particolare, sono stati oggetto d'indagine alcuni conci appartenenti alle travi di bordo ed a quelle adiacenti, site in due campate che durante la fase d'ispezione sono risultate essere particolarmente a rischio.

L'attrezzatura utilizzata per effettuare la campagna d'indagini Impact Echo sul viadotto indagato è prodotta dalla Ger-



Figura 9 - Spalling ed esposizione delle armature dei cavi. Sull'intradosso della trave sono evidenti macchie di umidità

man Instruments A/S. Tale attrezzatura è costituita da un notebook su cui è stata installata una scheda PCMCIA a due canali di tipo NI 5102, con convertitore analogico digitale a 8-bit. Nell'attrezzatura sono anche compresi due trasduttori, i cavi di connessione, il supporto che sostiene i due trasduttori durante la prova (LONGSHIP), il supporto a stella con tre impattori (aventi diametro 5, 8 e 12.5 mm) ed altri accessori (fig. 10). L'impattore che ha dato migliori risulta-

ti durante le acquisizioni in situ è stato quello avente diametro pari a 5 mm, cui corrispondono i seguenti valori caratteristici: $t_c = 22 \mu s$ e $f_{max} = 57 \text{ kHz}$.

Lo strumento utilizzato per la campagna d'indagini suddetta riesce a calcolare, via software il valore di V_{pp} .

Il sistema può essere utilizzato sia ad uno che a due canali. Con il sistema ad un canale (figura 11) è possibile misurare lo spessore o localizzare i difetti, dopo aver misurato la velocità delle onde P su

Figura 10 - Impact Echo test system



Figura 11 - Metodo ad un sensore



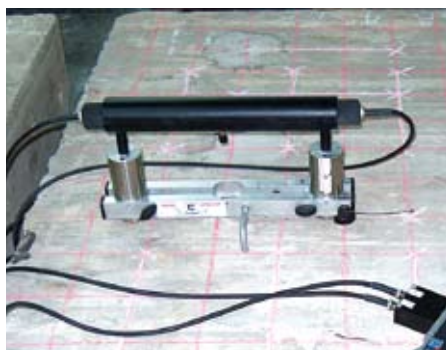


Figura 12 - Metodo a due sensori

una porzione solida del calcestruzzo di cui è noto lo spessore. In questo modo è possibile avere informazioni sullo spessore e sulla profondità del difetto con un errore variabile tra $\pm 3\%$.

Con il sistema a due canali (figura 12) è invece possibile misurare direttamente la velocità delle onde P ed è spesso indispensabile quando non è noto lo spessore delle sezioni analizzate.

Nel caso in esame non si conosceva a priori il valore dello spessore e non è stato possibile, effettuare il prelievo di carote passanti; in tali circostanze il metodo a due sensori si è dimostrato essere molto utile. Si è calcolato un valor medio della velocità delle onde P pari a 4500 m/s (figura 13). Successivamente con il sistema ad un canale è stato possibile validare le assunzioni fatte circa lo spessore del cassone sulla superficie laterale e localizzare i difetti sia nel calcestruzzo sia all'interfaccia calcestruzzo-cavo.

Per la quasi totalità della superficie laterale della trave è stato misurato un valore medio dello spessore del cassone di circa 100 mm (in realtà si è misurato che lo spessore è leggermente variabile lungo la

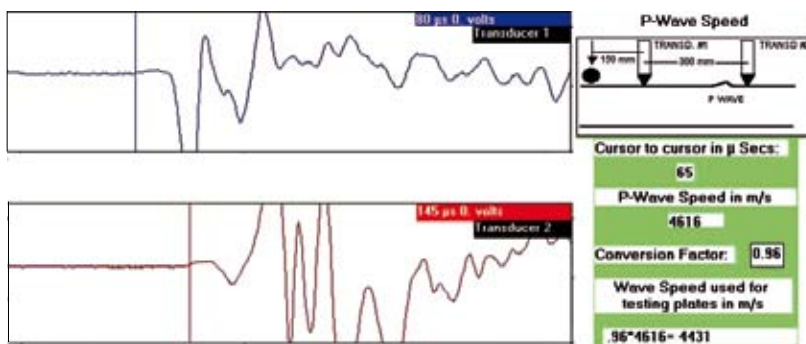


Figura 13 - Calcolo della velocità di propagazione delle onde di pressione

sezione trasversale). Quanto detto comporta che il valore del picco principale in frequenza dovuto al primo modo di vibrare della sezione, presumibilmente priva di difetti, deve essere compreso tra 22-23 kHz.

Per individuare la posizione esatta dei cavi di precompressione e delle staffe e per misurare il copriferro con notevole precisione è stato utilizzato il pacometro. Si è rilevato che la disposizione dei cavi era variabile da concio a concio.

Per eseguire le indagini IE, la superficie laterale della trave è stata suddivisa in una griglia da 20 cm in direzione longitudinale. Sempre in direzione longitudinale la griglia è stata tracciata facendo in modo che le linee fossero coincidenti con gli assi dei cavi; in direzione trasversale la griglia aveva dimensioni variabili. L'origine delle griglie è stata scelta uguale per tutte le travi e posta a circa 20 cm dal giunto ($x = 20$ cm) e 8 cm dall'intradosso della trave ($y = 8$ cm), come mostrato in fig. 15, punto A1.

Si riporta nelle immagini seguenti la sezione della trave in cui viene indicata la posizione del sensore ad un canale

(fig. 14) ed una vista laterale del concio con l'indicazione dei punti d'indagine effettuati dopo aver tracciato la griglia (fig. 15).

Per ogni punto della griglia sono state effettuate dalle 3 alle 7 acquisizioni, al fine di accertarsi che lo spettro visualizzato fosse effettivamente caratteristico della sezione analizzata e già in situ si è data una prima interpretazione degli spettri visualizzati. Nella fase di elaborazione dei dati, si è ritenuto opportuno riportare i dati acquisiti secondo una mappatura bidimensionale (B-scan); ogni punto della griglia (A1, B1, C1, etc.) è rappresentativo della sezione di trave sottostante.

Per la costruzione delle mappe è stato preso come riferimento il picco relativo allo spessore della sezione (figura 16) ed eventuali spostamenti dello stesso. La presenza di difetti o delaminazioni provoca, nello spettro in frequenza, lo spostamento del picco principale a frequenze inferiori (figura 17); mentre, la presenza di un picco secondario a frequenze maggiori è da associare alla profondità del difetto attraverso l'equazione

Figura 14 - Sezione della trave

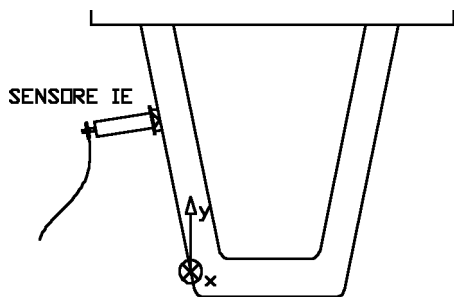


Figura 15 - Indicazione dei punti di misura sulla griglia



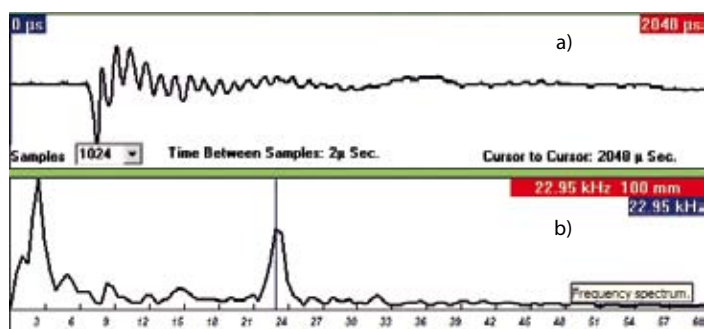


Figura 16 - Segnale acquisito in una sezione priva di difetti.
a) nel dominio del tempo; b) nel dominio delle frequenze

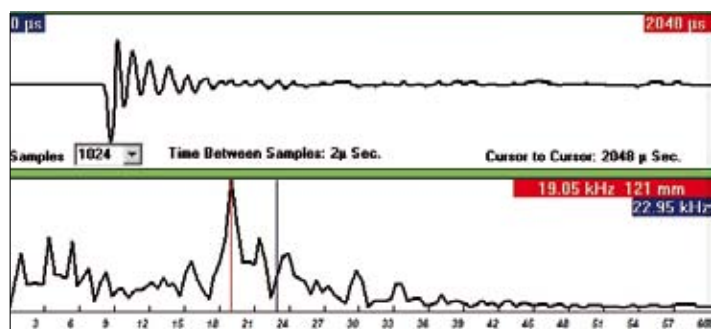


Figura 17 - Segnale acquisito in una sezione lesionata

fondamentale dell'Impact Echo (Eq. 2). Si riporta, a titolo di esempio, quanto ottenuto durante la fase di rielaborazione dei risultati acquisiti in campo sulla trave 2, appartenente alla campata 12. Di tale trave è stato scelto il concio B e, di questo, le superfici esposte lato monte e lato mare.

Le mappature (fig. 18, 19) sono state ottenute prendendo come riferimento la frequenza del picco principale e per costruirle sono state fatte circa 343 acquisizioni per ciascuna. Solo attraverso

l'analisi accurata del segnale in frequenza o la lettura incrociata del segnale in ampiezza, del segnale in frequenza e della osservazione visiva è stato possibile fare delle assunzioni circa la tipologia dei difetti rilevati. Dalle indagini effettuate è risultato che tutti i conci analizzati presentavano una porzione di superficie danneggiata per una percentuale compresa tra il 14% ed il 43%. Dalle indagini si è inoltre rilevato che il degrado della struttura non dipendeva dal fatto che la superficie era esposta lato mare o lato monte.

Conclusioni

I controlli non distruttivi stanno assumendo, negli ultimi anni, un ruolo chiave per la diagnosi ed il controllo delle strutture in calcestruzzo, in particolar modo delle strutture in c.a. precompresso e di quelle post-tese. Le strutture post-tese, in particolare a conci prefabbricati, sono frequentemente preferite rispetto ad altre soluzioni costruttive per la loro facilità di esecuzione, la loro flessibilità e per la loro struttura modulare. Tali strutture sono, però, soggette a particolari fenomeni di

Figura 18
Mappatura della superficie della trave lato mare (sx); griglia tracciata sulla superficie della trave (dx)

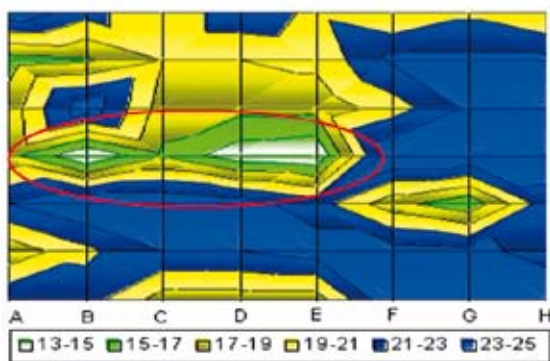


Figura 19
Mappatura della superficie della trave lato monte

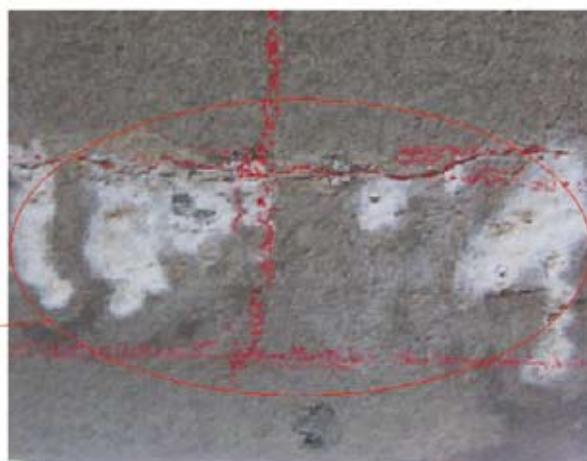
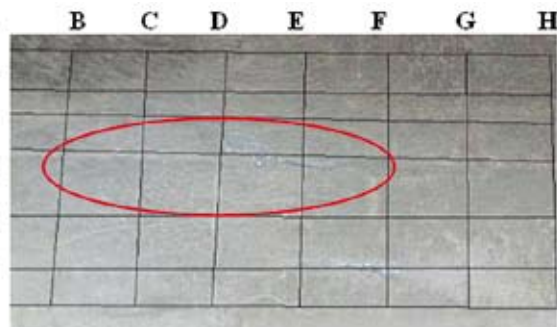
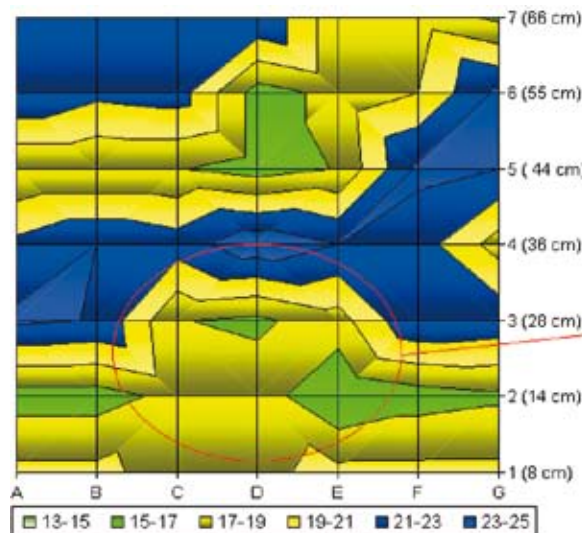


Figura 20 - Particolare dell'efflorescenza rilevata sulla superficie della trave

degrado legati alla possibile presenza di vuoti all'interno dei condotti di alloggiamento dei cavi di post-tensionamento. È, pertanto, necessaria un'attenta valutazione che permetta di stabilirne il comportamento nei confronti della durabilità. Attualmente sono tante le tecniche non distruttive utilizzate per il controllo delle strutture post-tese. L'Impact Echo offre alcuni vantaggi rispetto alle altre tecniche: è semplice da applicare in situ, non comporta nessun intervento invasivo sulla struttura, non richiede precauzioni di nessun tipo per l'operatore (nessuna emissione di onde elettromagnetiche) e richiede l'accesso da un solo lato della struttura da indagare. Inoltre tale tecnica è preferibile ad altre anche per la possibilità di ottenere informazioni non solo sulla posizione dei difetti, ma anche sulla natura degli stessi attraverso l'analisi in frequenza del segnale acquisito.

Nel presente lavoro è stata illustrata un'applicazione della tecnica Impact Echo su alcune travi da ponte in c.a.p. post-teso, che presentavano evidenti segni di ammaloramento del calcestruzzo e di corrosione delle armature. La tecnica è stata applicata nell'ambito di una campagna d'indagine volta a rilevare: disomogeneità del calcestruzzo, difetti, lesioni, delaminazioni ed informazioni sul riempimento dei condotti di post-tensionamento. Tale tecnica è risultata di particolare utilità nella localizzazione e caratterizzazione di difetti di riempimento nonché nell'identificazione delle porzioni di cavi più intensamente interessate da attacchi corrosivi.

Gli Autori desiderano ringraziare gli Ingg. D. Santacroce e P. Longo della Sidercem S.r.l. di Misterbianco (CT) per la collaborazione. Si desidera, inoltre, ringraziare il Compartimento ANAS di Catania per la disponibilità. Questo lavoro è stato realizzato nell'ambito del Progetto di Ricerca Industriale n° 12278 del 13/11/2001, cofinanziato dal MIUR "Nuove Tecnologie per la Valutazione del Degrado ed il Controllo di Strutture in Calcestruzzo Armato Precompresso".

Bibliografia

- [1] Allen A. H., "An introduction to prestressed concrete", Cement and Concrete Association (1981).
- [2] Poston R. W., Vouters J. P., "Durability of precast segmental bridges", NCHRP Web Document 15 (Project 20-7/Task 92), June 1998.
- [3] Bunker K. F. and Rabbat B. G., "Highway Bridge Type and Performance Patterns," Journal of Performance of Constructed Facilities, Vol. 4, No. 3, 1990, pp. 161-173.
- [4] Shokouhi P., Gucunski N., Wiggenhauser H., "Using Impact Echo for Nondestructive Detection of Delamination in Concrete Bridge Decks," 6th International Symposium on NDT in Civil Engineering (NDT-CE), 14-18 August 2006, St. Louis, MO, USA.
- [5] O. Abraham, P. Côte, "Impact-Echo Thickness Frequency Profiles for Detection of Voids in Tendon Ducts", ACI Structural Journal, V. 99, No. 3, May-June 2002.
- [6] Ertugrul Çam, Sadettin Orhan, Murat Lüy, "An Analysis Of Cracked Beam Structure Using Impact Echo Method," NDT&E International, Vol. 38 (2005), pp. 368-373.
- [7] F. Schubert, H. Wiggenhauser, R. Lausch, "On The Accuracy Of Thickness Measurements In Impact-Echo Testing Of Finite Concrete Specimens-Numerical And Experimental Results," Ultrasonics, Vol. 42 (2004), pp. 897-901.
- [8] W. F. Tawhed, S. L. Gassman, "Damage Assessment of Concrete Bridge Decks using Impact Echo Method," ACI Materials Journal, V. 99, No. 3, May-June 2002.
- [9] Ghorbanpoor A., "Evaluation of Post-Tensioned Concrete Bridge Structure by The Impact Echo Technique", (Report No. FHWA-RD-92-096). Federal Highway Administration, Washington, DC. 92 pp. (1993).
- [10] Jaeger B.J., "Evaluation of Grouted Tendon Ducts of an Existing Post-Tensioned Bridge Using The Impact Echo Method", Graduate Student Paper, Cornell University, Ithaca, NY.
- [11] N. M. Sutan, M. S. Jaafar, "Distress Detection In Reinforced Concrete By Non-Destructive Methods", NDT.net - January 2003, Vol. 8 No.01
- [12] Proverbio E., Laganà G., Venturi V., "Il Collasso del Ponte S. Stefano" l'Edilizia, No. 3, Giugno-Luglio, Anno XV, pp. 32-37. ■

Gli autori

Proverbio Edoardo è professore straordinario di "Scienza e Tecnologia dei Materiali" presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Messina. È autore di più di 100 pubblicazioni su riviste e atti di congresso internazionali e nazionali. Si è sempre occupato di corrosione e protezione dei materiali ed in particolare della corrosione nelle strutture in calcestruzzo armato. È responsabile scientifico del progetto MIUR "Nuove tecnologie per la valutazione del degrado ed il controllo delle strutture in calcestruzzo armato precompresso" ed è coordinatore del gruppo di lavoro "Nuove tecniche di valutazione per le strutture in calcestruzzo armato precompresso" nell'ambito del progetto europeo di cooperazione tecnica e scientifica COST534.

Epasto Gabriella è dottoranda di ricerca in "Ingegneria e Chimica dei Materiali" presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Messina ove sta approfondendo le tematiche dell'identificazione di difetti interni in strutture in c.a. e c.a.p. tramite indagini non distruttive. Si è laureata a Messina nel 2003 in Ingegneria dei Materiali con una tesi di laurea dal titolo "Degrado al fuoco delle strutture in calcestruzzo armato" in collaborazione con la Sidercem S.r.l. Nel 2004 ha usufruito di una borsa di studio della Fondazione Bonino-Pulejo di Messina, per attività di ricerca nel campo dei "Cementi e conglomerati cementizi resistenti alle elevate temperature", svolte presso l'Università degli Studi "La Sapienza" di Roma.

Vincenzo Venturi, ingegnere libero professionista e, da oltre 20 anni, Direttore Tecnico della SIDERCEM S.r.l. società titolare di due Laboratori Ufficiali ed Istituto di Ricerca e Sperimentazione sui materiali da costruzione, sulle tecniche di controllo, sul monitoraggio e sulla diagnosi del degrado di grandi opere e del patrimonio monumentale. È stato titolare a contratto presso la Facoltà di Ingegneria di Messina del corso "Tecniche di indagine in-situ ed in laboratorio di manufatti in calcestruzzo e muratura", ha curato e diretto diversi corsi di aggiornamento tecnico rivolti ai funzionari, preposti al controllo ed alla manutenzione delle strade e del patrimonio edilizio. È autore di oltre 30 pubblicazioni su riviste e atti di congresso internazionali e nazionali. È responsabile per la SIDERCEM del progetto MIUR "Nuove tecnologie per la valutazione del degrado ed il controllo delle strutture in calcestruzzo armato precompresso".

PROFESSIONISTI NEL RICICLAGGIO

UTS

- Senza operatore
- Alta produzione
- Completamente autonomo
- Minime usure
- Bassi costi di gestione e manutenzione
- Non produce inquinamento atmosferico e acustico



graphic by www.artimprovisation.it



Impianti fissi e mobili di frantumazione, classificazione, lavaggio e separazione di materiali provenienti da:

- Demolizioni di calcestruzzi
- Traversine ferroviarie
- Scarti e sfridi di laterizi
- Scarti di manufatti in cemento
- Demolizioni stradali
- Pali E.N.E.L.
- Alluminio
- Vetro
- Inerti di cava
- Loppe d'altoforno

Progettazione di impianti su specifica richiesta dei clienti

Servizio ricambi Assistenza in cantiere con personale altamente qualificato



Via Emilia, 2765 - 40050 Gallo Bolognese Castel S. Pietro (Bologna)
Tel. 051 941287 Fax 051 942014 - ufficio.commerciale@camssrl.it