

MONITORAGGIO STATICO DELLE STRUTTURE PRECOMPRESSE

di Raffaele Pucinotti,
Dip. di Meccanica
e Materiali
Università Mediterranea
di Reggio Calabria

Vincenzo Venturi,
Sidercem Srl

Particolare
di struttura degradata:
segregazione e cavi
ed armature scoperte

La manutenzione dei ponti, così come quella degli edifici esistenti, deve necessariamente passare attraverso un'attenta programmazione caratterizzata da ispezioni periodiche delle opere e ricognizioni finalizzate al riconoscimento dell'attivazione di fenomeni di degrado.

Le ispezioni hanno lo scopo oltre che di individuare gli eventuali interventi da effettuare al fine del mantenimento dell'efficienza delle opere, anche e soprattutto quello di scongiurare il collasso strutturale.

I fenomeni di degrado che interessano una struttura in c.a.p. prendono origine, nella gran parte dei casi, da calcestruzzi confezionati per classi di esposizione non adeguate alle condizioni ambientali di esercizio dell'opera, da copriferro di spessore insufficiente, da un non corretto sistema di smaltimento delle acque meteoriche e da difetti di sigillatura o di intasamento dei condotti.

In genere, la maggiore difficoltà che si presenta nella valutazione del livello di degrado è rappresentata dall'impossibilità di accedere direttamente, ed in maniera non invasiva, alle armature metalliche sia lente che da precompresso.

Ciò costringe a ricorrere, oltre che ad una attenta valutazione visiva dello stato fessurativo e del degrado, anche all'impiego di tecniche di monitoraggio di tipo indiretto: puntuali e globali.

In generale possono essere definiti tre differenti tipologie di monitoraggio cioè di studio del comportamento delle strutture nel tempo [4]:

- le ispezioni visive;
- il monitoraggio ad evento;
- il monitoraggio continuato.

Le prime due rappresentano le tecniche maggiormente diffuse, mentre l'ultimo, sicuramente più impegnativo in termini di costi e di risorse impiegate, consiste nella misura e acquisizione costante nel tempo di grandezze fisiche mediante l'impiego di strumentazioni installate sugli elementi strutturali.

Il monitoraggio è generalmente orientato verso la caratterizzazione delle proprietà meccaniche dei materiali e la valutazione del loro degrado (Figure 1 e 2) nel tempo ed anche verso la valutazione del comportamento globale dell'organismo strutturale.

Nel primo caso, lo scopo è quello di ottenere indicazioni sul comportamento locale dei materiali impiegati nella realizzazione di una struttura sia per effetto delle azioni (carichi, variazioni termiche, ecc.) sia per effetto del degrado. Nel secondo caso deve fornire informazioni di carattere globale sull'intera struttura (fessurazioni, deformazioni eccessive, fenomeni deformativi in atto, dissesti).

In Figura 1 è riportato il dettaglio del degrado di una trave in c.a.p. dovuto alla segregazione, mentre in Figura 2 è dettagliato il degrado dovuto alla rottura della guaina e all'ossidazione delle armature.

Il monitoraggio deve essere preceduto da una attenta ispezione visiva finalizzata sia alla individuazione, definizione e schedatura dei difetti, che alla identificazione delle zone della struttura da monitorare, da sottoporre ad indagini non distruttive o da cui estrarre campioni di laboratorio.





La valutazione dello stato di degrado degli elementi, mediante ispezione visiva, deve essere condotta in dettaglio in modo da poter definire il catalogo dei difetti e la scala di danno di intensità compresa fra 1 e 6,5, procedendo quindi alla schedatura dei punti più significativi anche mediante elaborazioni grafiche e dettagli fotografici [1].

L'evoluzione tecnologica ha messo a disposizione dell'ingegnere tecniche di monitoraggio che permettono di conseguire, sia in fase di realizzazione delle opere che in sede di controllo, risultati di elevata affidabilità. Il loro utilizzo e l'importanza della loro applicazione ed applicabilità, è più evidente nel momento in cui il monitoraggio viene utilizzato per la valutazione dello stato di "salute" oppure per la determinazione del "reale" grado di sicurezza di strutture esistenti [2].

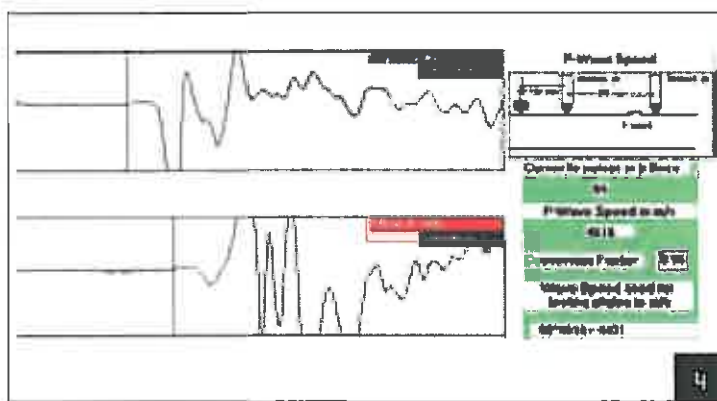
L'introduzione di strumenti più raffinati e tecnologicamente evoluti ha consentito ai professionisti, che affrontano tali problematiche, di ottenere diagnosi sempre più accurate.

Per esempio, il monitoraggio continuo grazie all'impiego di **fibre ottiche** consente di controllare in tempo reale il verificarsi di una situazione anomala individuandone esattamente il punto in cui si verifica. Ciò permette di adottare immediatamente i provvedimenti necessari al fine di scongiurare eventuali crolli.

Il monitoraggio a fibre ottiche, a differenza dei sistemi tradizionali, non risente delle interferenze elettromagnetiche e quindi consente la trasmissione del segnale a grandi distanze.

La centrale di controllo può essere pertanto posizionata anche molto distante dalla struttura sottoposta ad indagine.

La tecnologia dei sensori a fibre ottiche, che vengono annegate al momento del getto per le nuove costruzioni oppure introdotte successivamente nelle strutture esistenti, consente di sorvegliare nel tempo le deformazioni e gli spostamenti di punti di sezioni ritenute critiche.



Nel caso delle strutture in c.a.p. a cavi post-tesi, il monitoraggio e la diagnosi dei fenomeni di degrado, possono essere eseguiti associando alle prove non distruttive correntemente utilizzate (di tipo tradizionale), metodi tecnologicamente avanzati capaci di fornire informazioni differenti: sullo stato di intasamento delle guaine, sulla presenza di cricche nei cavi e di lesioni nel calcestruzzo, sulle condizioni di tesatura dei cavi, sulla presenza di eventuali difetti verificatisi in fase esecutiva.

Tra le tecniche innovative che consentono un approccio integrato alla valutazione del danno nelle strutture in c.a.p. a cavi post-tesi, particolare interesse mostrato l'**impact-echo**, l'**emissione acustica**, il **georadar (GPR)**.

Il principio di funzionamento dell'**Impact Echo** è basato sull'analisi di un'onda elastica transiente generata dall'impatto di una sfera d'acciaio sulla superficie della struttura (Figura 3).

L'analisi nel dominio delle frequenze delle onde di pressione, tipo P, che si propagano in direzione normale all'applicazione della sollecitazione consente di rilevare vuoti nelle guaine di alloggiamento dei cavi e difetti correlati alla scadente qualità del calcestruzzo, come vespai, delaminazioni e cavità (Figura 4).

Figura 2:
Particolare
di struttura degradata:
rottura della guaina
e ossidazione

Figura 3:
Impact Echo System -
reticolo e sonda

Figura 4:
Impact Echo -
Esempio di segnale

Figura 5.

GPR

a) Acquisizioni Radar

b) Particolare

dell'Antenna di 2 GHz



Figura 6.

GPR - Risultati

delle indagini

Radar

Figura 7.

Emissione Acustica -

Posizionamento

dei sensori sulle travi

Il funzionamento del **Georadar (GPR)** si basa invece sulla trasmissione (mediante un meccanismo di propagazione e riflessione) di onde elettromagnetiche di breve durata e sulla registrazione del periodo

di ritorno e della resistenza dei segnali riflessi dovuta alla presenza di materiali differenti (radargramma).

La trasmissione e ricezione di tali segnali, aventi frequenza nominale ricadente nel range 500 MHz - 2,5 GHz, è operata da antenne che vengono fatte scorrere sulla struttura da indagare (Figura 5).

La tecnica radar consente di stabilire in tempi relativamente brevi il numero, la posizione e l'importanza delle discontinuità presenti nel materiale (armature, guaine, ecc.).

Inoltre permette di determinare la posizione di possibili difetti (vuoti, cavità, inclusioni) all'interno delle strutture in c.a. ed in c.a.p. sottoposte ad indagine.

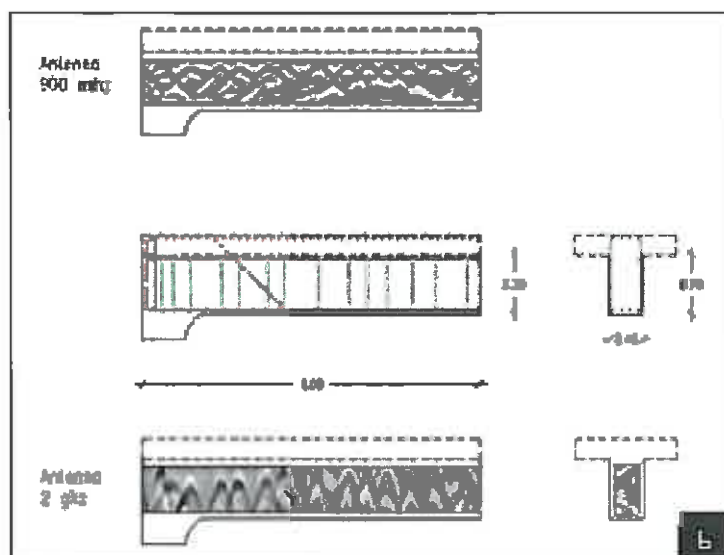
A tal proposito si veda la Figura 6 in cui sono riportati i risultati di due indagini GPR condotte rispettivamente utilizzando un'antenna da 900 MHz ed una da 2 GHz su una trave da ponte in c.a.; l'indagine ha consentito di individuare la posizione delle armature metalliche presenti.

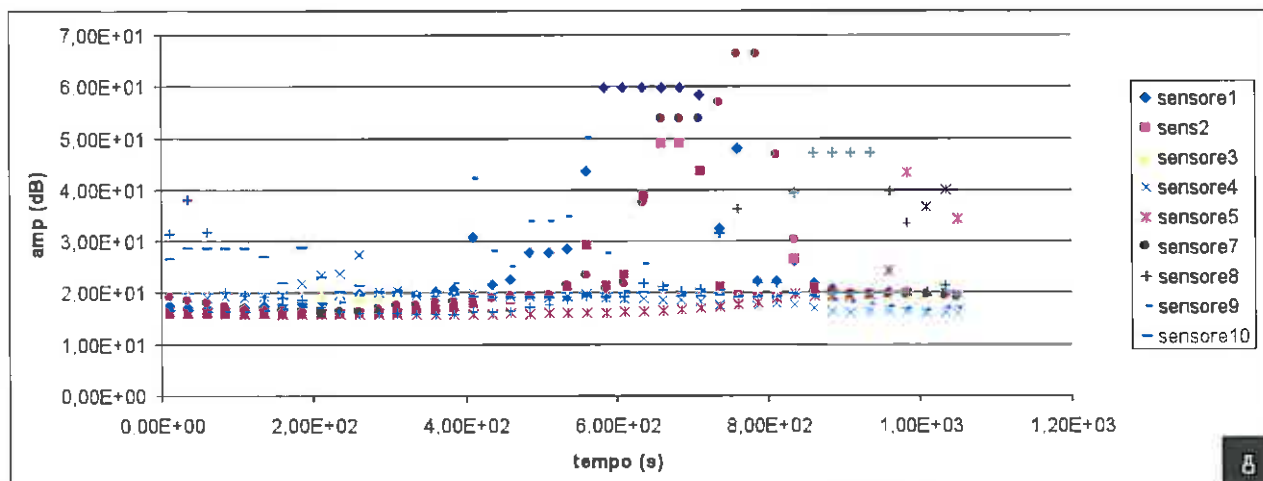
La tecnologia dell'**Emissione Acustica (EA)**, che consiste nella rilevazione di segnali acustici ad alta frequenza emessi durante la propagazione di cricche o in seguito all'evoluzione di fenomeni corrosivi si sta diffondendo di recente anche come tecnica per il controllo di strutture in calcestruzzo armato normale e precompresso.

Tale metodologia si basa sul rilevamento di onde elastiche transitorie, prodotte da microspostamenti interni, conseguenti a fenomeni di deformazione plastica o di propagazione di cricche, utilizzando opportuni trasduttori, che consentono di trasformare impulsi meccanici in segnali elettrici, suscettibili ad amplificazione e filtraggio, prima di essere analizzati.

Tale tecnica è indicata, per esempio, nella caratterizzazione dei meccanismi di propagazione di cricche sui cavi interessati da processi corrosivi [3].

Un esempio di applicazione della tecnologia dell'EA è riportata nelle Figure 7 e 8.





In particolare la Figura 7 riporta il posizionamento dei sensori in una trave da ponte mentre la Figura 8 riporta un esempio di output.

Le tecniche di monitoraggio sinteticamente descritte in precedenza, risultano molto efficienti nella indivi-

duazione delle disomogeneità e dei difetti presenti nel calcestruzzo; consentono inoltre di evidenziare in modo accurato i difetti di riempimento dei cavi e le porzioni di questi maggiormente interessate da fenomeni corrosivi. #

Figura 8
Emissione Acustica -
Esempio di output

Bibliografia

- | | | |
|--|--|---|
| [1] Venturi V., Santacroce D., Longo P., Proverbio E. "Interventi di diagnosi strutturale su un ponte in cemento armato precompresso". http://www.sidercem.it/documenti/diagnosi-strutturale-ponte.pdf . | Dario Flaccovio Editore, ISBN: 8877586605. | article/aipnd2009/files/orig/102.pdf . |
| [2] Pucinotti R. (2006), "Patologia e Diagnostica del Cemento Armato (Indagini non Distruttive e Carotaggi nelle Opere da Consolidare)". | [3] Proverbio E., Venturi V., Longo P., Santacroce D., Venturi M. "L'approccio integrato alla valutazione del danno delle strutture in c.a.p. a cavi post-tesi. Un esempio pratico di applicazione di tecniche di indagine innovative: impact echo, emissione acustica, georadar (GPR)". http://www.ndt.net/ | [4] Condino M., Morrone F., Porco G., "Metodi NDT e Monitoraggio a Fibre Ottiche: proposta di una metodologia sperimentale integrata per il controllo della funzionalità statica degli edifici in c.a. di nuova costruzione". http://www.ndt.net/article/aipnd2007/files/orig/63.pdf . |



#FISSATI PER IL CALCESTRUZZO



ADDITIVI PER CALCESTRUZZO

- Superfluidificanti;
- Fluidificanti;
- Antigelo/Acceleranti;
- Aerante;
- Additivi speciali.

Primo Stabilizzatori S.p.A.
Via Mattei Grappa 11 D - E 20067 TRIBIANO (MI) - www.winnipeg.com