

# Ispezione multitecnologica per una maggiore produttività nella costruzione di PPVC

## Astratto

La costruzione volumetrica prefabbricata (PPVC) sta diventando sempre più popolare a Singapore ed è persino imposta in alcuni siti di vendita di terreni governativi. Il PPVC offre diversi vantaggi, tra cui una maggiore produttività, che ora è una priorità ancora più importante a causa della pandemia. L'ispezione è necessaria per garantire l'integrità strutturale delle strutture in PPVC, ma spesso è considerata un processo che non aggiunge valore e richiede tempo. Questo documento illustra come l'uso di un approccio ispettivo multi-tecnologico possa garantire l'integrità e come gli strumenti di ispezione digitale possano aggiungere valore e migliorare la produttività.

## Introduzione

I metodi di costruzione off-site stanno crescendo in popolarità in molti Paesi, tra cui Singapore, [Regno Unito](#) e [Giappone](#). Uno di questi metodi è la costruzione volumetrica prefabbricata (PPVC). Il PPVC prevede la fabbricazione e la finitura di moduli 3D (di solito stanze) fuori dal cantiere. In cantiere devono essere assemblati insieme per formare l'edificio completo, ad esempio un condominio. Nella progettazione a doppia parete, l'intercapedine tra le due pareti prefabbricate in calcestruzzo viene stuccata iniettando una malta liquida in loco. Spostando gran parte del lavoro fuori dal cantiere, si ottengono diversi vantaggi, tra cui una maggiore produttività, un ambiente di costruzione migliore, una maggiore sicurezza del cantiere [e un controllo di qualità più rigoroso](#). Alcuni esempi di progetti in PPVC completati a Singapore sono la [NTU Hall of Residence](#) e la [Clement Canopy](#).

Sebbene la ragione principale per l'impiego del PPVC sia l'aumento della produttività, questo non è stato pienamente realizzato a causa di diverse sfide, molte delle quali riguardano il controllo della qualità. Esistono vari requisiti di ispezione sulle strutture in PPVC, tra cui (i) il controllo di qualità degli elementi prefabbricati in calcestruzzo; (ii) il controllo di qualità degli elementi in calcestruzzo gettati in opera; (iii) il controllo di qualità della stuccatura e (iv) l'ispezione dei difetti strutturali su progetti in PPVC esistenti o vecchi.

Diversi metodi di controllo non distruttivo (NDT) sono applicabili al PPVC. Questi saranno introdotti nella sezione "Materiali e metodi" e saranno descritti nella loro rilevanza per il PPVC. I risultati dell'ecografia a ultrasuoni (UPE), insieme alla rappresentazione dei dati su una piattaforma di ispezione digitale, saranno presentati e discussi nella sezione "Risultati e discussione". Si dimostrerà che l'uso di diverse tecniche di ispezione, unito all'uso di software avanzati, può aumentare la produttività e l'affidabilità del PPVC.

L'eco a ultrasuoni è l'argomento principale di questo articolo, poiché si tratta del metodo NDT più avanzato applicato al PPVC. Il team di Proceq Asia ha lavorato a stretto contatto con i pionieri del PPVC a Singapore per applicare l'UPE al controllo della qualità del grouting.

## Materiali e metodi

Il martello a rimbalzo è un comune strumento NDT per stimare la resistenza alla compressione in modo rapido e senza la necessità di eseguire carotaggi. Il principio di funzionamento è che una massa caricata a molla colpisce la superficie del calcestruzzo e il suo rimbalzo viene misurato e correlato alla resistenza alla compressione. L'Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) viene utilizzato in modo simile per stimare la resistenza alla compressione in modo rapido e senza la necessità di eseguire carotaggi. Tuttavia, il principio di funzionamento è molto diverso. Con l'UPV un segnale ultrasonico viene inviato nel calcestruzzo mediante un trasduttore e ricevuto mediante un secondo trasduttore.

Lo spessore del calcestruzzo attraverso il quale gli ultrasuoni hanno viaggiato deve essere noto. Il tempo di percorrenza viene determinato in base ai tempi di invio e ricezione dei trasduttori. È quindi possibile calcolare la velocità dell'impulso ultrasonico. Poiché l'ultrasuono è un'onda meccanica, la sua velocità attraverso un materiale dipende dalle proprietà meccaniche del materiale stesso. Pertanto, una volta calcolata la velocità dell'impulso ultrasonico, è possibile stimare la resistenza del calcestruzzo. Queste due tecniche possono essere utilizzate per misurare la resistenza alla compressione degli elementi prefabbricati in calcestruzzo PPVC, nel sito di fabbricazione.

La combinazione di prove con martello a rimbalzo e UPV è denominata metodo SONREB ("sonic rebound") e fornisce una stima più accurata della resistenza alla compressione. Questa è un'altra opzione per gli elementi prefabbricati in calcestruzzo.

Un importante requisito ispettivo è quello di verificare che la stuccatura tra gli elementi in calcestruzzo sia stata eseguita correttamente. Questo viene ovviamente fatto in cantiere. Un'opzione è l'uso di UPV, poiché la velocità degli ultrasuoni può dare un'indicazione della qualità della stuccatura. Tuttavia, questo non fornisce molte informazioni all'ispettore. Saprà solo che un determinato volume di stucco probabilmente presenta dei difetti, ma non ne conoscerà le dimensioni e la posizione esatta.

Per ottenere ulteriori informazioni è necessaria un'analisi dei dati fuori sede, per cui è impossibile una valutazione immediata. La copertura dell'UPV è limitata, quindi è necessario eseguire più misurazioni per coprire un'ampia area di calcestruzzo. L'opzione preferita è l'eco a impulsi ultrasonici (UPE), che offre un'immagine reale di eventuali difetti, oltre ad altri vantaggi illustrati di seguito. La valutazione è possibile immediatamente in cantiere, il che contribuisce ad aumentare la produttività.

### Figure 1 Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) principle

Con l'UPE, gli ultrasuoni vengono inviati all'interno del calcestruzzo e riflettono eventuali limiti o difetti (Figura 2). Gli ultrasuoni riflessi vengono ricevuti dallo stesso strumento, quindi è necessario accedere solo a un lato, a differenza di quanto avviene con l'UPV. Un'altra differenza è che con l'UPE, in genere, viene utilizzato un "array" di ultrasuoni, il che significa che in uno strumento sono presenti diversi trasduttori che trasmettono e ricevono tutti gli ultrasuoni. Questo genera un gran numero di segnali che possono essere elaborati per ottenere un'immagine trasversale 2D o addirittura 3D della struttura. Con lo strumento in un'unica posizione è possibile acquisire un'ampia area di calcestruzzo e lo strumento viene spostato lungo il calcestruzzo per generare molte immagini che vengono automaticamente unite tra loro.

### Figure 2 Ultrasonic Pulse Echo (UPE) principle.

Sul lato sinistro della figura 2, viene mostrata una riflessione dallo spessore totale (parete posteriore). Sul lato destro è mostrata la riflessione di un difetto, ad esempio una delaminazione.

I principi dell'UPV e dell'UPE sono illustrati schematicamente nelle figure 1 e 2 rispettivamente. Si noti che l'UPV richiede un gel di accoppiamento a ultrasuoni tra i trasduttori e la superficie, mentre l'UPE non lo richiede perché vengono utilizzati trasduttori a contatto secco (DPC). Questo è un ulteriore vantaggio dell'UPE, soprattutto per la scansione di grandi aree.

Nel corso degli anni Proceq ha sviluppato diversi strumenti UPE array, in particolare Pundit 250 Array, Pundit PD8000 e [Pundit PD8050](#). Gli ultimi due sono strumenti wireless collegati a dispositivi mobili abilitati a Internet. Viene utilizzata un'applicazione dedicata su iPad. Tutti i dati vengono salvati su un server web e possono essere consultati ed elaborati in modo sicuro da postazioni remote. L'applicazione consente agli utenti di generare rapporti sul campo e di collegarsi automaticamente ad altre applicazioni, ad esempio per la gestione delle ispezioni.

Un altro requisito NDT per il cemento armato è il rilevamento delle barre di acciaio di rinforzo ("armature"). I due metodi più diffusi sono il test a correnti parassite pulsate e il Ground Penetrating Radar. Il test a correnti indotte è un test rapido che rileva la presenza di armature e può anche fornire una stima della profondità e del diametro del manto, ma non può rilevare altri oggetti. Il Ground Penetrating Radar (GPR) è una tecnica di imaging simile all'UPE, ma che utilizza onde radio anziché ultrasoniche. Questi metodi possono essere applicati agli elementi prefabbricati in PPVC rinforzato.

# Risultati e discussione

In questa sezione verranno presentati e discussi i risultati dell'UPE, compresa la loro integrazione con una piattaforma di ispezione digitale.

## Figure 3 (a) and (b)

## Figure 3 (c) and (d)

La Figura 3 mostra le anime di una struttura in PPVC.

In (a) le carote sono costituite da due strati di calcestruzzo con interposta una malta di buona qualità. Lo spessore totale è di circa 20 cm.

In (c) è mostrata una singola carota con una stuccatura difettosa tra i due strati di calcestruzzo. Lo spessore totale di calcestruzzo-rivestimento-calcestruzzo è di circa 20 cm, ma questa volta ci sono diversi difetti nella stuccatura.

In (b) e (d) sono mostrati i risultati UPE ottenuti con Pundit 250 Array. In (b) si nota una forte riflessione (grande indicazione rossa) a circa 20 cm, come ci si aspetta da una malta di buona qualità: gli ultrasuoni la attraversano direttamente e vengono riflessi con forza solo dalla parete opposta. In (d) c'è una forte riflessione a circa 10 cm, che si riferisce alla profondità della stuccatura; ciò significa che gli ultrasuoni vengono riflessi dall'interno della stuccatura, quindi deve essere presente aria (difetti).

## Figure 4 (a)

## Figure 4 (b)

La Figura 4 mostra altri esempi di dati UPE provenienti da strutture in PPVC; questa volta lo spessore totale del calcestruzzo-rivestimento è di 30 cm e la stuccatura è in calcestruzzo autocompattante (SCC). In (a) la stuccatura è stata completata, quindi si nota una forte riflessione a 30 cm. In (b) la stuccatura non è ancora stata eseguita, per cui si vedono riflessioni circa a metà, in corrispondenza dello spazio tra i due strati di calcestruzzo. Questo rappresenta l'aspetto di una stuccatura di scarsa qualità (contenente molta aria) con UPE.

Come la maggior parte dei progetti di costruzione, il PPVC comporta grandi volumi di materiale da ispezionare, più cantieri (sia di fabbricazione che di costruzione), grandi volumi di dati di ispezione e molti soggetti interessati. È quindi importante che i dati di ispezione siano archiviati in formato digitale e su server cloud sicuri, in modo da poter essere consultati dalle parti interessate, anche a distanza di anni. L'ideale sarebbe che la raccolta dei dati e l'archiviazione sul web avvenissero senza soluzione di continuità, vale a dire che i dati venissero raccolti direttamente su un dispositivo mobile abilitato a Internet e inviati automaticamente al cloud. In questo modo l'operatore non deve spendere ulteriore tempo o sforzi per salvare i dati.

Inoltre, è importante che i dati di localizzazione siano memorizzati insieme ai dati di ispezione. Non si tratta solo di una posizione GNSS approssimativa o di un indirizzo postale, ma di una posizione esatta rispetto alla planimetria del progetto. Gli ingegneri di Proceq stanno collaborando con i pionieri del PPVC a Singapore per raggiungere questo obiettivo utilizzando il loro nuovo software, Screening Eagle [INSPECT](#).

INSPECT è una piattaforma software completa e intelligente con molte funzioni per migliorare la produttività, la qualità e l'affidabilità delle attività di pre-ispezione, ispezione e reporting. Nel contesto delle strutture in PPVC, consente agli utenti di assegnare i dati NDT, ad esempio i dati UPE, a una posizione esatta in un'unità abitativa. Un esempio è mostrato nella Figura 5. È possibile includere anche dati provenienti da altri metodi di ispezione e siti di ispezione, ad esempio test di rimbalzo nel sito di fabbricazione.

# Conclusioni e raccomandazioni

L'uso del PPVC ha il potenziale per migliorare notevolmente la produttività delle costruzioni, ma pone diverse sfide in termini di ispezione. Attraverso una buona pianificazione e la scelta dei giusti strumenti di ispezione, è possibile ispezionare una struttura in modo rigoroso senza spendere molto tempo o energia. Come dimostrato in questo articolo, è necessario un approccio multi-tecnologico con l'impiego di diverse tecnologie di ispezione per i diversi requisiti di ispezione.

Un'ulteriore raccomandazione è quella di utilizzare dispositivi mobili abilitati a Internet per raccogliere i dati e inviarli automaticamente a un archivio cloud sicuro. Questo aumenterà ulteriormente la produttività e l'affidabilità delle strutture in PPVC. Inoltre, l'ideale sarebbe memorizzare i dati di ispezione insieme alla loro ubicazione, ad esempio indicando esattamente da quale parte dell'unità abitativa sono stati rilevati i dati ultrasonici. I vantaggi di questa soluzione si faranno sentire soprattutto molti anni dopo, quando i dati di ispezione delle strutture in PPVC dovranno essere riesaminati, ad esempio a causa di un guasto di una struttura simile, o quando si dovrà eseguire un intervento di retrofit/ristrutturazione.



[Terms Of Use](#)  
[Website Data Privacy Policy](#)

**Copyright © 2024 Screening Eagle Technologies. All rights reserved.** The trademarks and logos displayed herein are registered and unregistered trademarks of Screening Eagle Technologies S.A. and/or its affiliates, in Switzerland and certain other countries.