

Il caso studio di Punta Perotti

Prove diagnostiche in campo

arch. Nicola Labia, ing. Federico Lazzaroni
ENEA – C.R. Casaccia - ROMA

SOMMARIO

La problematica della sicurezza strutturale di un fabbricato esistente è sostanzialmente collegata alla valutazione del grado di sicurezza che l'opera presenta nella situazione costruttiva in cui si trova.

Tale grado di sicurezza può infatti essersi via via ridotto o potrà ridursi nel tempo e quindi è necessario procedere ad un'attenta analisi dello stato di fatto.

L'approccio più semplice per risolvere il problema della caratterizzazione dei materiali è costituito attualmente dall'esecuzione di prove meccaniche di tipo distruttivo mentre nel caso studio di Punta Perotti si sono utilizzate anche prove non distruttive nei modi previsti dalla normativa vigente.

Sono state perciò utilizzate indagini di tipo pacometrico, sclerometrico, termografico ed ultrasonico in abbinamento con prove distruttive eseguite però in quantità minore.

Intento principale dell'attività di ricerca è stato quello di dimostrare la possibilità di intervenire con tipologie di indagine certamente meno dannose per la struttura indagata.

Nella presentazione delle attività svolte è descritto l'iter progettuale ed esecutivo delle indagini condotte sulle strutture di Punta Perotti prima che le stesse fossero rase al suolo.

nicola.labia@casaccia.enea.it

federico.lazzaroni@casaccia.enea.it

INTRODUZIONE

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 3274 del 20 marzo 2003 pubblicata l'8 maggio 2003, modificata dall'OPCM 3431 del 03/05/05, consente di utilizzare metodi non distruttivi in aggiunta ai tradizionali metodi distruttivi per poter giungere in maniera più completa alla descrizione dello stato di fatto dei manufatti indagati ed alla stima della resistenza dei materiali costituenti gli stessi.

E' quindi previsto di procedere a verifica sia degli edifici di interesse strategico e delle opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per la protezione civile, sia degli edifici e delle opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in seguito alle conseguenze di un eventuale collasso.

Si pone quindi il problema di procedere alla determinazione della modifica statica delle costruzioni esistenti partendo dalla definizione delle caratteristiche meccaniche dei materiali che spesso si può svolgere prevalentemente utilizzando indagini di tipo non distruttivo.

In maniera particolare, quando ci si trova ad affrontare strutture in cemento armato, ci si muove utilizzando tecniche che calcolano in campo una serie di grandezze legate alla resistenza del materiale e che vengono in seguito elaborate attraverso differenti metodologie di correlazione.

Le correlazioni utilizzate possono basarsi su esperienze precedenti rintracciabili in letteratura o essere costruite appositamente utilizzando campioni di materiale realizzati ad hoc o basarsi sui campioni estratti in situ.

Si può quindi affermare che le fasi principali del percorso da realizzare in riferimento alla normativa vigente sono:

- ***Accertamento dello stato di fatto dell'edificio e della sua storia***
- ***Individuazione degli elementi di vulnerabilità e di forza dell'edificio, pur in assenza di danni in atto***
- ***Definizione degli interventi da adottare***
- ***Verifica con metodi di calcolo e/o sperimentali dell'idoneità degli interventi a conseguire il soddisfacimento della normativa***

In relazione a quanto detto è evidente la necessità di affinare i processi conoscitivi e rendere più articolate le strategie di acquisizione d'informazioni sullo stato di fatto dei manufatti.

Le indagini non distruttive sugli edifici sono quindi in una fase di notevole approfondimento e sviluppo ed i tecnici interessati a tali attività, dall'applicazione di queste tecnologie, richiedono informazioni sulla geometria degli elementi non visibili, sul loro stato di ammaloramento e sulla matrice che compone i materiali presenti.

L'indagine strumentale su di un sistema offre perciò la possibilità di accrescere la sicurezza da un lato e di migliorare i costi di gestione dall'altro. Effettuare indagini diagnostiche su di un manufatto architettonico consente di verificare i parametri originali di progetto ed apprezzare gli eventuali scostamenti; in altre parole si potranno rilevare eventuali anomalie strutturali e/o di esercizio.

Una tale quantità di informazioni eterogenee richiede l'utilizzo di più sistemi basati su principi fisici di funzionamento diversi.

Per formulare correttamente un progetto di un'indagine, il cui scopo sia la definizione puntuale dello stato di fatto e delle caratteristiche meccaniche del manufatto preso in esame si deve per prima cosa realizzare un attento sopralluogo per meglio predisporre le attività da svolgere.

Questo studio iniziale servirà a programmare tutto il lavoro successivo, sia per quanto concerne il tipo ed il numero delle indagini da seguire, sia per quanto riguarda i tempi di attuazione delle stesse e le modalità di elaborazione dei dati acquisiti in campo.

Tutte le attività da svolgere si potranno quindi racchiudere in tre grandi fasi:

Fase preliminare

Fase di acquisizione dati

Elaborazione dati

PROVE IN CAMPO

Nel caso studio in questione si è provveduto a realizzare un sopralluogo più che esaustivo delle strutture su cui si sarebbero dovute realizzare le attività diagnostiche non distruttive in parallelo a quelle distruttive per cercare di avvalorare maggiormente l'abbinamento delle due tipologie di indagine per poter giungere alla definizione delle caratteristiche strutturali dei manufatti edilizi.

In relazione a tale operazione si è giunti alla definizione specifica delle indagini da eseguire ed alla individuazione dei vari pilastri su cui stabilire le stazioni di prova. La scelta degli elementi da indagare è stata guidata dallo studio dei carichi a cui l'edificio era sottoposto e dalla maggiore o minore esposizione agli agenti atmosferici particolarmente aggressivi considerando la posizione a ridosso del mare ed il fatto che la struttura era rimasta completamente esposta alle stesse per più di dieci anni.

Si è deciso di procedere quindi con la realizzazione delle seguenti prove diagnostiche:

Prove non distruttive

- indagine pacometrica
- indagine sclerometria
- indagine ultrasonica
- indagine termografica

Prove distruttive

- carotaggi
- microcarotaggi

PROVE NON DISTRUTTIVE

Questo tipo di diagnostica sugli edifici deve poter riunire le seguenti potenzialità:

- 4 conservazione integrità oggetto esaminato;
- 4 globalità di informazioni;
- 4 capacità di fornire dati sia qualitativi che quantitativi;

Le indagini non distruttive possono classificarsi in due grandi gruppi:

INDAGINI PASSIVE - Le indagini di tipo passivo, fanno riferimento a quei fenomeni fisici che si verificano naturalmente e che consentono di essere rilevati, tramite la strumentazione, senza richiedere interventi artificiali di stimolazione.

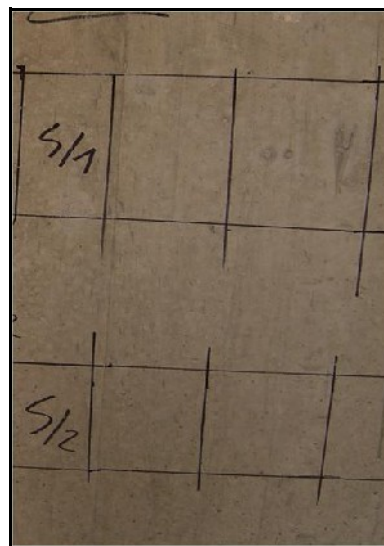
INDAGINI ATTIVE - Le indagini di tipo attivo, sono quelle che richiedono anche in minima misura, un'eccitazione artificiale (meccanica, elettrica, termica, ecc.) dipendente quest'ultima dai fenomeni fisici che gli strumenti sono in grado di rilevare.

Indagine Pacometrica

Il funzionamento del pacometro utilizzato nelle attività svolte nel cantiere di Punta Perotti a Bari si basa sul principio delle correnti di Foucault ed assicura una stabilità delle misure superiore rispetto a quelle che vengono fornite dagli strumenti a riluttanza magnetica.

Questa indagine ha permesso di individuare e localizzare le barre di armatura poste all'interno dei getti di calcestruzzo costituendo quindi fase fondamentale di preparazione delle indagini sclerometriche ed ultrasoniche.

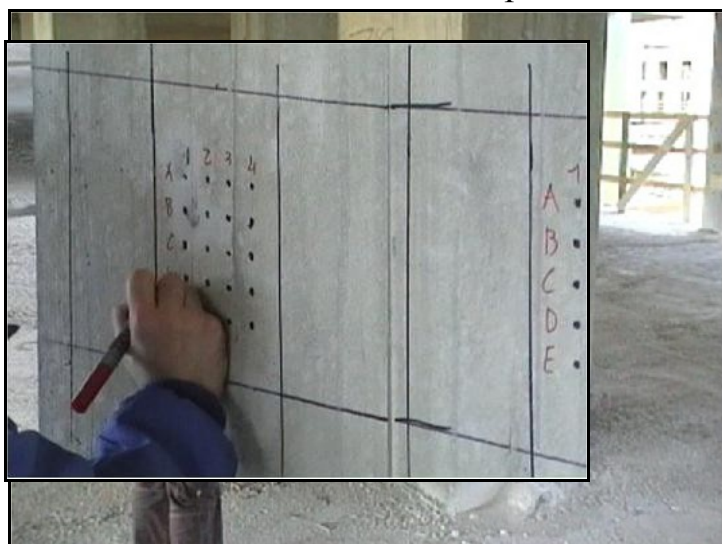
Con questa attività, svolta secondo la norma BS 1881:2004, è stato quindi possibile definire in maniera univoca sulla superficie delle strutture in cemento armato, la posizione di ferri e staffe ed individuare quindi le diverse stazioni di prova.



Indagine Sclerometria

Lo sclerometro, il cui utilizzo è normato dalla UNI 9189, è costituito da una massa battente posta in contrasto ad un'asta di percussione a contatto della superficie di prova.

La tecnica permette di misurare l'indice di rimbalzo che è correlato tramite apposite tabelle al valore della durezza superficiale.



Resta in ogni caso presente il limite dello strumento legato alla scarsa profondità dell'indagine, alla capacità di fornire solo un dato relativo alla resistenza locale e dal fatto di essere influenzato significativamente dalle condizioni dello strato superficiale.

Indagine Ultrasonica

Il termine ultrasonico è usato per descrivere le vibrazioni a frequenza superiore a 20.000Hz.

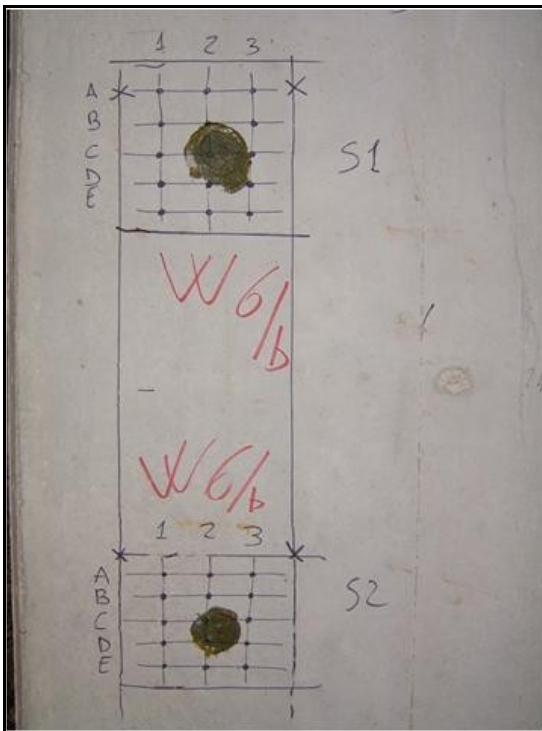
Il metodo si basa su impulsi che sono prodotti da trasduttori piezoelettrici e propagati nell'elemento da provare attraverso un mezzo di accoppiamento.

Dopo aver percorso una traiettoria di lunghezza L l'impulso viene ricevuto da un secondo trasduttore che lo trasforma in un segnale elettrico.

Le metodologie di prova possono essere eseguite in maniera *diretta* (sonde su due facce opposte), in maniera *indiretta* (sonde sulla stessa faccia) ed in maniera *semidiretta* (sonde su due facce adiacenti).

Nelle attività svolte a Punta Perotti, seguendo la norma UNI 9524:1988/A1:1992, sono state realizzate principalmente misure di tipo diretto posizionando di volta in volta le sonde al centro delle stazioni sulle quali si erano realizzate in precedenza le battute sclerometriche.

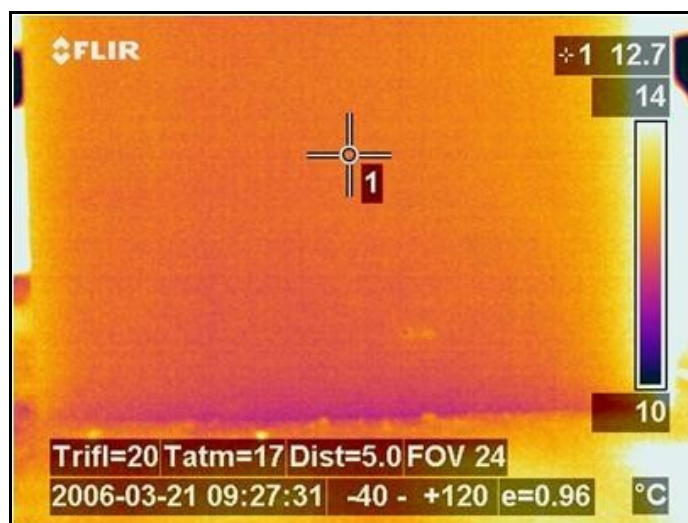
Sono state comunque anche realizzate alcune misure col metodo indiretto allorquando si è trattato di indagare setti in cemento armato e non pilastri.



Tale tecnica permette comunque di eseguire prove su di un numero elevato di punti per giungere ad una migliore definizione delle caratteristiche complessive della struttura, consente di valutare la variazione della densità del materiale analizzato nell'arco del tempo ma presenta una parziale possibile variabilità delle misure eseguite dovuta ad alterazioni causate dall'umidità e da altri fattori congiunturali.

Indagine Termografica

Ogni materiale emette con continuità energia sotto forma di radiazioni elettromagnetiche, il suo spettro è diviso convenzionalmente in un certo numero di campi di lunghezza d'onda, detti bande e la più interessante per i fenomeni legati ai manufatti edilizi è quella dell'infrarosso. La tecnica rileva quindi le onde elettromagnetiche in funzione della loro temperatura e permette di misurare e definire la distribuzione superficiale della stessa su di un materiale a seguito di una sollecitazione di origine termica. Le eventuali anomalie presenti in tale mappa di distribuzione sono indice di possibili difetti e si è quindi in grado di rilevare anomalie strutturali e funzionali sia di singoli materiali che di strutture più complesse.



L'applicazione di tale tecnica nel cantiere di Punta Perotti ha riguardato in maniera specifica la ricerca e definizione del livello di umidità presente in alcuni setti murari maggiormente esposti a tale rischio.

La tecnica comunque consente la possibilità di effettuare le indagini in breve tempo, ed a distanza, permette di localizzare punti di crisi, considerando però che l'interpretazione dei termogrammi ottenuti richiede una notevole esperienza ed una adeguata preparazione specifica ricordandosi di tener sempre ben presente le condizioni al contorno che influiscono non poco sul processo di lettura e definizione dei risultati.

PROVE DISTRUTTIVE

Carotaggi e microcarotaggi

Una delle prove meccaniche di tipo distruttivo più largamente utilizzata per poter definire le caratteristiche meccaniche degli elementi in cemento armato è sicuramente rappresentata dall'operazione di estrazione, in accordo con le norme UNI EN 12504-1:2002 e UNI 10766:1999, attraverso l'ausilio di apposite macchine carotatrici, di campioni cilindrici con diverso diametro e diversa lunghezza. Tali provini subiscono successivamente l'indagine per la definizione del livello di carbonatazione e la fase di rettifica per poter essere sottoposti alla prova a schiacciamento.

Nelle attività svolte nel cantiere oggetto di indagine è stato possibile prelevare carote e microcarote nella quasi totalità delle stazioni di prova utilizzate per lo svolgimento delle attività descritte precedentemente in modo da riuscire ad ottenere tutta una serie di valori utili alla creazione di apposite curve di correlazione relative alle strutture di Punta Perotti.



L'utilizzo di provini estratti direttamente dalla struttura ci permette quindi di calcolare in maniera diretta il valore di rottura del materiale realizzato ed il suo livello di carbonatazione, richiedendo però elevati costi per il prelievo, significativa invasività sulla struttura ed una tendenziale sottostima delle caratteristiche meccaniche ottenute sui campioni alterati durante la fase di prelievo.



Per cercare di limitare il più possibile questo aspetto, carote e micro carote appena estratte sono state imballate singolarmente, trasportate e stoccate con la massima cura in modo da cercare di renderle il più indisturbate possibile.



RACCOLTA DATI

Per raccogliere in maniera adeguata tutti i dati e valori relativi alle indagini eseguite ed agli elementi strutturali indagati, si è provveduto alla creazione di apposite schede utilizzate prima in campo e poi ritratte informaticamente al fine di creare un vero e proprio database contenente tutti i risultati scaturiti dalle attività svolte sugli edifici in cemento armato del complesso di Punta Perotti prima che lo stesso fosse demolito con l'utilizzo di cariche esplosive.

ENEA												
DATI DIMENSIONALI E VALORI DELL'INDAGINE												
			NUMERO PILASTRO		W - 17		LIVELLO		Interrato		ORIENTAMENTO	
			SE = sud-est		NE = nord-est		NW = nord-ovest		SW = sud-ovest		NE	
			NUMERO STAZIONI		3		NOTE					
DATI GEOMETRICI (misure in mm)												
a	b	c	d	h	a ₁	h ₁	a ₂	h ₂	a ₃	h ₃		
1910	400	1910	400	3100	255	1830	245	1460	245	970		
TEMP.				UMIDITA'				CLIMA				
INDAGINE SCLEROMETRICA												
STAZ.	INDICI DI RIMBALZO				α	IR	intervallo validità		IR Medio			
S ₁	40	42	41	41	43	0	40,9	34,9	46,9	41,10		
	42	40	42	40	38							
S ₂	42	42	40	40	42	0	41,6	35,6	47,6			
	43	43	43	42	39							
S ₃	43	43	40	37	38	0	40,8	34,8	46,8			
	40	43	41	40	43							
INDAGINE CON ULTRASUONI												
Tempi di transito/Stazione 1				Tempi di transito/Stazione 2								
Distanza sonda (mm)				Distanza sonda (mm)								
1 ^{us}	2 ^{us}	3 ^{us}	V (m/s)	1 ^{us}	2 ^{us}	3 ^{us}	V (m/s)					
97,4	97,3	97,0	4114	96,1	96,3	96,6	4152					
Tempi di transito/Stazione 3												
Distanza sonda (mm)								V _m (m/s)				
1 ^{us}	2 ^{us}	3 ^{us}	V (m/s)					4131				
96,5	96,7	97,6	4127									

ENEA														
SCHEDATURA CAROTAGGI														
Carote e Microcarote														
			NUMERO PILASTRO		W - 17		LIVELLO		Interrato		ORIENTAMENTO			
			SE = sud-est		NE = nord-est		NW = nord-ovest		SW = sud-ovest		NE			
			SIGLA E NUMERO CAROTAGGI (foro da 112 mm)		M ₁		1		M ₂		1		M ₃	
			SIGLA E NUMERO MICROCAROTAGGI (foro da 42 mm)		m _{1/a}		1		m _{1/b}		1		m _{2/a}	
		m _{2/b}		1		m _{3/a}		1		m _{3/b}				
		m _{3/a}		1		m _{3/b}		1						
		m _{3/b}		1		NOTE		M2, M3, m2b e m3b sono con ferro						
POSIZIONAMENTO FORI DI CAROTAGGIO														
misure in mm														
a			b			c			d			h		
1910			400			1910			400			3100		
a _{1.1}	a _{1.2}	a ₃	a _{1/a}	a _{1/b}	a _{2/a}	a _{2/b}	a _{3/a}	a _{3/b}						
221		241	101	106	101	101	96	106						
h ₁	h ₂	h ₃	h _{1/a}	h _{1/b}	h _{2/a}	h _{2/b}	h _{3/a}	h _{3/b}						
1926		976	1981	1911	1511	1441	1016	951						

L'insieme dei dati è poi stato studiato ed elaborato con software dedicati al fine di realizzare le curve di correlazione citate in precedenza e poter inoltre cercare di avvalorare maggiormente l'effettiva validità delle tecniche diagnostiche non distruttive realizzate in sostituzione di quelle distruttive sempre nelle quantità prevista dalla normativa vigente. In conclusione si riporta di seguito la tabella in cui sono inseriti i totali degli elementi strutturali indagati, delle prove eseguite sugli stessi e dei campioni cilindrici prelevati.

<i>TOTALE PILASTRI INDAGATI 89</i>
<i>PACOMETRIA SU 87 PILASTRI</i>
<i>SCLEROMETRIA SU 69 PILASTRI CON 298 STAZIONI</i>
<i>ULTRASUONI SU 64 PILASTRI CON 152 STAZIONI</i>
<i>180 CAROTE Ø 100</i>
<i>293 CAROTE Ø 32</i>