

# **Prime correlazioni tra prove non distruttive e prove distruttive su calcestruzzo: analisi statistiche applicate al caso studio di Punta Perotti**

F. Caretto, G. Ciniglio<sup>3</sup>, V. Luprano, V. Pfister, A. Porco<sup>4</sup>, A. Tati<sup>2</sup>, A. Tundo  
e M. Puccini<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *ENEA C.R. Brindisi – SS 7 km 714 – 72100 Brindisi - Italy - fax +39 0 831 201581*

<sup>2</sup> *ENEA C.R. Casaccia – v. Anguillarese, 301 - 00123 S.Maria di Galeria - Roma - Italy*

<sup>3</sup> *ENEA C.R. Portici - via Vecchio Macello -80055 Portici- Napoli - Italy*

<sup>4</sup> *Università della Calabria Campus di Arcavacata - via P. Bucci - 87036 Arcavacata di Rende - Cosenza - Italy*

## **SOMMARIO**

È sempre più stringente la necessità di valutare nelle strutture esistenti la resistenza del calcestruzzo per ottenere una valutazione quanto più possibile accurata delle capacità strutturali di un edificio. Metodi di prova in situ possono essere usati per una stima quantitativa della resistenza della struttura da analizzare ma, per fare questo è necessario stabilire una correlazione rappresentativa tra prove distruttive effettuate sull'edificio, che implicano i carotaggi, e quelle non distruttive. La normativa vigente attualmente lascia discrezionalità ai tecnici sulla scelta dei punti di misura, dando invece indicazioni sul numero di prove invasive necessarie per effettuare un adeguato piano di indagine. Il tentativo di questo studio statistico è volto a cercare di definire dei criteri pratici di valutazione che permettano di effettuare la scelta dei punti di misura dei carotaggi in maniera mirata al fine di costruire una curva di correlazione rappresentativa del calcestruzzo analizzato. Per effettuare questo studio è stato preso in esame un edificio di 14 piani di Bari, chiamato Punta Perotti, destinato a demolizione sul quale era possibile effettuare un gran numero di carotaggi. Punta Perotti era inoltre un edificio in calcestruzzo armato esposto da più di 10 anni a condizioni ambientali particolarmente aggressive (vicino al mare e in una zona molto ventilata) e senza murature di tompagno. Circa 180 carote (100 mm diametro) sono state prelevate da pilastri dell'edificio a differenti piani (-1, 0, 1, 2, 3, 6) dopo aver effettuato le prove non distruttive (ultrasuoni e sclerometria) sullo stesso pilastro. L'analisi statistica dei dati è stata effettuata tramite la metodologia one-way ANOVA. Alcune delle possibili correlazioni tra prove non distruttive e prove distruttive sono riportate nel seguente articolo con le prime valutazioni scaturite dall'analisi statistica dei dati.

## **INTRODUZIONE**

La riclassificazione sismica del territorio italiano derivante dall'emanazione dell'Ordinanza del Presidente Consiglio dei Ministri (OPCM) n 3274 del 20 marzo 2003 [1] impone il problema del monitoraggio e della verifica dello stato di consistenza del patrimonio edilizio esistente ed in particolare della cosiddetta "edilizia strategica" (tipicamente scuole, ospedali, edifici pubblici, life line, ma anche edifici di particolare valenza storico artistica).

In Italia, con l'Ordinanza 3274 del 2003 e le sue successive modifiche (OPCM 3431/2005 [2]), è stato adottato un sistema normativo, coerente con l'EC8 [3], in cui è previsto che l'adeguamento sismico comporta lo sviluppo di un processo quantitativo fondato sulle seguenti fasi: conoscenza strutturale, definizione delle prestazioni richieste, valutazione della struttura esistente in riferimento al livello prestazionale attualizzato, progetto di adeguamento e infine valutazione della struttura adeguata.

La valutazione della sicurezza ed il progetto degli interventi sono in genere affetti da un grado di incertezza maggiore di quello delle costruzioni di nuova progettazione, e ciò implica la necessità di elaborare in maniera opportuna i dati relativi alle proprietà dei materiali nelle verifiche di sicurezza, di adottare metodi di analisi e di verifica compatibili con la conoscenza del manufatto e per quanto possibile, di ricostruire un quadro della struttura portante completo ed affidabile, anche al fine di ridurre il costo complessivo dell'intervento di adeguamento strutturale [4][5].

Della struttura analizzata è necessario conoscere le norme tecniche utilizzate in fase di progettazione, la pratica costruttiva caratteristica dell'epoca e la sua destinazione d'uso.

Per il calcolo delle capacità degli elementi strutturali si utilizzano i valori medi delle proprietà dei materiali esistenti, come ottenuti dalle prove in situ e da eventuali informazioni aggiuntive, divisi per il "Fattore di Confidenza". Questo ultimo dipende dal livello di conoscenza raggiunto dell'intera struttura.

Ai fini della scelta del tipo di analisi e dei valori dei fattori di confidenza vengono definiti i tre livelli di conoscenza seguenti:

- LC1: Conoscenza Limitata;
- LC2: Conoscenza Adeguata;
- LC3: Conoscenza Accurata.

Gli aspetti che definiscono i livelli di conoscenza sono: geometria (ossia le caratteristiche geometriche degli elementi strutturali), dettagli strutturali (ossia la quantità e disposizione delle armature, la consistenza degli elementi non strutturali collaboranti), materiali (ossia le proprietà meccaniche dei materiali).

Il livello di conoscenza acquisito determina il metodo di analisi, ed i valori dei fattori di confidenza da applicare alle proprietà dei materiali.

Per la conoscenza della resistenza caratteristica a compressione del calcestruzzo la suddetta Normativa consente di sostituire alcune prove distruttive (non più del 50%), con un ampio numero (almeno il triplo), di prove non distruttive di documentata affidabilità, singole o combinate tarate su quelle distruttive.

La stessa Norma indica nella superficie di piano di 300 mq il numero minimo di carote da estrarre, variabili da tre a nove a seconda del livello di indagine da eseguire (limitato, esteso od esaustivo), e conseguentemente in sostituzione percentuale il numero di prove non distruttive.

A parte queste indicazioni generali per la stima della resistenza in situ del calcestruzzo, non esistono procedure consolidate di supporto ai tecnici nell'uso delle metodologie di indagine congiunte (prove distruttive e prove non distruttive).

Incerta è l'effettiva correlabilità dei dati che ne derivano, come evidenziato anche in letteratura [1]: confrontando molteplici dati derivanti dalle indagini su un numero consistente di edifici, le relazioni ipotizzate tra la resistenza a compressione del calcestruzzo ottenuta dai carotaggi e i risultati delle prove in situ risultano disperse e non facilmente comparabili a causa della natura e del numero dei dati.

L'obiettivo è quello di convalidare l'uso delle prove non distruttive attraverso la individuazione di curve di correlazione attendibili al fine di ridurre il numero di prove distruttive da effettuare sulla struttura indagata, cioè correlare l'indice di rimbalzo e la velocità ultrasonora con la resistenza caratteristica a compressione del calcestruzzo.

Inoltre è necessario trovare dei metodi affidabili per l'individuazione degli elementi strutturali omogenei da indagare, nonché per la localizzazione delle stazioni di prova, in funzione della riduzione dei fattori soggettivi insiti nel giudizio tecnico emesso in fase di analisi dal professionista incaricato.

Per mettere a punto questo metodo si è pensato di passare attraverso la raccolta di un numero consistente di dati sperimentali derivanti da prove differenziate per tipo e per grandezze fisiche caratteristiche su cui effettuare studi statistici.

L'Enea ha individuato nella struttura di Punta Perotti a Bari (Figura 1), un caso di studio esemplare per la raccolta dati richiesta.

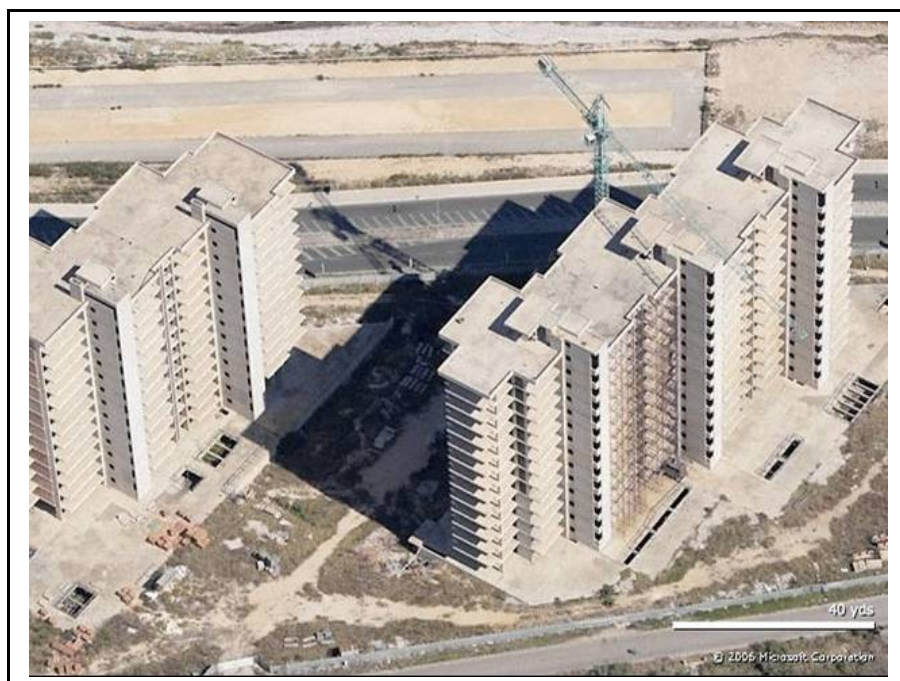


Figura 1: edificio B del complesso di Punta Perotti, Bari

L'edificio, costruito in calcestruzzo armato e sottoposto da più di dieci anni a fattori ambientali particolarmente severi (la prossimità del mare, senza alcun tipo di protezione o rivestimento, senza muri di tombagno) si presentava, poiché destinato ad immediata demolizione, particolarmente idoneo alla esecuzione di prove non distruttive da mettere in correlazione a un numero consistente di prove distruttive (carotaggi).

L'edificio analizzato era costituito da 14 piani fuori terra, un piano interrato, con impalcato tipo di circa 1560 mq.

È stato messo a punto un consistente piano di indagine corrispondente ai dettami normativi e alle indicazioni delle linee guida internazionali [7], riguardante una tipologia omogenea di elementi strutturali (i pilastri). È stata realizzata una campagna prove avente come risultati, l'estrazione di più di 500 carote e microcarote e circa un migliaio di prove non distruttive.

Per tutti i campioni prelevati sono state effettuate in laboratorio le prove ultrasonore e le prove meccaniche per la valutazione della resistenza caratteristica a compressione. I dati ottenuti in campo ed in laboratorio sono stati confrontati ed elaborati.

Il fine ultimo di questo lavoro è stato quello di individuare o perlomeno di iniziare a solcare il cammino di una metodologia di indagine, in grado nel tempo ed attraverso la applicazione ad un numero di casi sempre più vasto, di produrre protocolli di indagine applicabili alle strutture in calcestruzzo armato.

Emerge tuttavia sempre più chiaramente che l'individuazione di un protocollo di indagine va nella direzione della individuazione di alcune invarianti. Rimane tuttavia inevitabile tenere in considerazione le caratteristiche peculiari dell'oggetto in esame (l'edificio) caratterizzato per sua natura da un altissimo livello di complessità.

## **DATI SPERIMENTALI**

Sul complesso di Punta Perotti è stata effettuata un'ampia campagna di prove distruttive e non. La descrizione completa della campagna prove è riportata in [8]. In particolare le prove utilizzate per l'analisi dati riportata nel presente articolo sono:

- 90 misure ultrasonore e sclerometriche effettuate in campo su pilastri a 3 differenti altezze (stazioni di prova) su sei differenti piani dell'edificio (-1, 0, 1, 2, 3, 6) e relative misure di resistenza a compressione su carote prelevate dalle stesse postazioni
- misure di velocità ultrasonora effettuate in laboratorio su 180 carote estratte dai pilastri e relative misure di resistenza a compressione

La strumentazione utilizzata per le prove in campo è:

- Sclerometro meccanico di alta qualità per strutture in calcestruzzo normale Energia di impatto 2.207 N/m.
- Pacometro digitale di precisione a microprocessore COVERMASTER CM9 con sonda standard da 7 a 90 mm
- Strumento ultrasonoro a bassa frequenza RP5000 SIRIO dotato di microcomputer e due sonde di frequenza di 50 KHZ cristallo da 1"
- Carotatrice con colonna di scorrimento dotata di corone diamantate di diametro 3,5 cm e 10 cm, per foratura ad acqua su tutte le superfici di calcestruzzo armato

La strumentazione utilizzata per le prove in laboratorio è:

- Strumento ultrasonoro a bassa frequenza RP5000 SIRIO dotato di microcomputer e due sonde di frequenza di 50 KHZ cristallo da 1"
- pressa per prove a compressione automatica 250 KN CONTROLS dotata di computer di acquisizione dati

Informazioni più dettagliate sulla strumentazione utilizzata e valutazioni dei metodi di prova sono riportate in [9].

## **INTERPRETAZIONE DATI E DEFINIZIONE DEL CAMPIONE STATISTICO**

Le prove non distruttive forniscono informazioni che, unitamente ai valori delle resistenze a compressione, permettono di individuare curve di correlazione caratteristiche del materiale esaminato.

L'utilizzo combinato di prove non distruttive dovrebbe fornire informazioni che migliorano la stima della resistenza. Per esempio: un aumento del contenuto di acqua nel calcestruzzo fa aumentare la velocità ultrasonora e fa decrescere l'indice sclerometrico cosicché la combinazione dei due effetti dovrebbe migliorare l'accuratezza della stima della resistenza [7].

Partendo da questo presupposto si è affrontata la valutazione delle relazioni di correlazione sia nel caso di utilizzo di un metodo combinato (in funzione quindi di velocità ultrasonora e indice di rimbalzo), sia considerando come unica variabile dipendente la velocità ultrasonora.

Il risultato di un esame così condotto è stato sintetizzato nella Figura 2 dove appare come l'utilizzo del metodo combinato porta in questa situazione a risultati ( $R_{abc}$ ) simili rispetto alla stima della resistenza in funzione della sola velocità ultrasonora ( $R_{ac}$ ).

La considerazione così ottenuta non si scosta da quanto appare nell'ACI 228 [7] secondo la quale i miglioramenti raggiunti con l'uso del metodo combinato non sono significativi.

Sulla struttura di Punta Perotti non risulta pertanto necessario applicare il metodo combinato cosicché nelle successive considerazioni si sono costruite curve di correlazione ad hoc in funzione della sola velocità ultrasonora.

Un'ulteriore interpretazione dei dati a disposizione è stata effettuata per cercare di definire i gruppi omogenei di dati al fine di avere un campione statistico più ampio possibile su cui costruire le curve di correlazione.

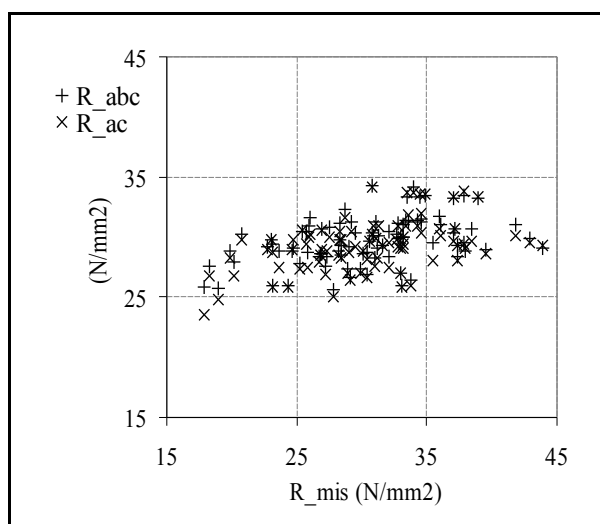


Figura 2: confronto risultati correlazione metodo combinato ( $R_{abc}$ ) e semplice ( $R_{ac}$ )

A questo scopo ci si è avvalsi dell'ausilio del software Analyse-it [10] per utilizzare la metodologia ANOVA (ANalysis Of VAriance). ANOVA è uno strumento della statistica sviluppato per verificare la significatività delle differenze tra le medie aritmetiche di due o più popolazioni statistiche similari. ANOVA permette di scomporre e misurare l'incidenza delle diverse fonti di variazione sui valori osservati di due o più gruppi di dati [11].

Il calcestruzzo per sua natura è un materiale che ha caratteristiche fisiche fortemente variabili se misurate in modo puntuale.

Si è ritenuto quindi ANOVA uno strumento statistico idoneo per la trattazione di "dati molto diversificati", come quelli ottenuti da questo tipo di campagne sperimentali, piuttosto che la statistica effettuata attraverso il t di Student comunemente usato per questo tipo di analisi, ma che necessita di un maggior numero di prove per rendere generali le conclusioni.

Le ipotesi di base di questa metodologia prevedono che i dati siano tra loro indipendenti, distribuiti normalmente e che le varianze dei vari gruppi siano omogenee. Queste ipotesi risultano soddisfatte sulle misure eseguite sul complesso di Punta Perotti.

Si è quindi proceduto suddividendo la totalità dei dati in diversi gruppi considerando un solo parametro di variazione (ad esempio il piano, la stazione di prova, lo strumento di

misura etc.) per gruppi di campi con comportamenti con comportamenti dati tra loro omogenei

- i piani di resistenza tra resistenze
- dall'analisi del medesimo velocità (considerando)
- si è verificato che ultrasonori in laboratorio raddoppiano

rottura: piano -1, piano 0, piano 1, piano 2, piano 3, piano 6

n		160 (cases excluded due to missing values)	
rottura	n	Mean	SD
piano -1	46	33.017	5.103
piano 0	14	32.021	7.416
piano 1	19	32.734	3.732
piano 2	55	28.111	3.946
piano 3	19	29.011	3.770
piano 6	7	18.857	4.075

Source of variation	SSq	DF	MSq	F	p
rottura	1681.968	5	336.394	15.54	<0.0001
Within cells	5334.143	154	21.650		
Total	5016.111	159			

Contrast	Difference	Bonferroni 95% CI		
		Lower	Upper	
piano -1 v piano 0	0.996	-3.239	5.231	
piano -1 v piano 1	0.200	-3.550	4.017	
piano -1 v piano 2	4.906	2.134	7.678	(significant)
piano -1 v piano 3	3.207	-0.577	6.990	
piano -1 v piano 6	14.160	8.532	15.789	(significant)
piano 0 v piano 1	-0.763	-5.649	4.124	
piano 0 v piano 2	3.911	0.243	8.064	
piano 0 v piano 3	2.211	-2.676	7.098	
piano 0 v piano 6	13.164	6.742	15.587	(significant)
piano 1 v piano 2	4.673	0.931	8.365	(significant)
piano 1 v piano 3	2.074	-1.528	7.475	
piano 1 v piano 6	13.927	7.733	20.06	(significant)
piano 2 v piano 3	-1.700	-5.332	1.992	
piano 2 v piano 6	9.254	3.636	14.82	(significant)
piano 3 v piano 6	10.853	4.819	17.068	(significant)

sono individuati i pilastri non accorpate quelli con il numero massimo di pilastri:

delle correlazioni

allo stesso pilastro le differenze tra i valori di resistenza in diverse analisi si sono riscontrate sullo stesso piano. Le misure di velocità ultrasonora sono state effettuate in modo che ha permesso di effettuare analisi statistiche.

Figura 3: risultati ANOVA: confronto tra resistenza a compressione attenuata su differenti piani

## ANALISI DELLE CORRELAZIONI

Alla luce delle considerazioni dei precedenti paragrafi, sono state condotte analisi sulla correlazione tra resistenza a compressione e velocità ultrasonora nell'ottica sia di ridurre il numero di carotaggi necessari per ottenere curve di correlazione rappresentative della struttura, sia di individuare, in seguito a un'ampia campagna di prove non distruttive, gli elementi più significativi della struttura da cui effettuare i carotaggi.

A tal fine si è scelto di individuare 3 lotti di 10 campioni (valore dettato dalle attuali linee guida nazionali [2]), per ogni piano, con valori della velocità ultrasonora posizionati rispettivamente nella fascia dei valori minimi, medi e massimi prendendo 10 campioni da 10 pilastri distinti.

1-way between subjects ANOVA

R stazioni piano -1: s1, s2, s3

n		33 (cases excluded due to missing values)	
R stazioni piano -1	n	Mean	SD
s1	11	33.073	5.126
s2	12	31.892	3.979
s3	7	35.514	4.312

Source of variation	SSq	DF	MSq	F	p
R stazioni piano -1	62.501	2	31.250	1.40	0.2542
Within cells	364.521	30	12.151		
Total	427.022	32			

Contrast	Difference	Bonferroni 95% CI	
		Lower	Upper
s1 vs s2	2.067	-2.573	6.747
s1 vs s3	-1.036	-7.013	3.947
s2 vs s3	3.623	0.255	7.011

no significant difference

1-way between subjects ANOVA

velocità stazioni piano -1: s1, s2, s3

n		36	
velocità stazioni piano -1	n	Mean	SD
s1	5	4137.400	39.48
s2	11	4141.175	41.910
s3	7	4176.429	33.636

Source of variation	SSq	DF	MSq	F	p
velocità stazioni piano -1	1171.111	2	585.556	34	0.0001
Within cells	3352.381	32	104.762		
Total	4523.492	34			

Contrast	Difference	Bonferroni 95% CI	
		Lower	Upper
s1 v s2	6.233	131.877	85.616
s1 v s3	-42.024	-124.496	-19.552
s2 v s3	-48.257	-150.060	-46.454

no significant difference

Figura 4: risultati di ANOVA: resistenza a rottura nel piano -1 in funzioni delle 3 differenti stazioni di prova  
 Figura 5: risultati ANOVA: velocità ultrasonora nel piano -1 in funzione delle 3 differenti stazioni di prova

velocità pilastro/carota: MEDIA S, VEL.PRIMA					
n	275 (cases excluded: 32 due to missing values)				
velocità pilastro/carota	n	Mean	SD		
MEDIA S	180	4132.428	142.082		
VEL.PRIMA	95	4097.031	143.158		
Source of variation	SSq	DF	MSq	F	p
velocità pilastro/carota	77687.552	1	77687.552	0.96	0.3286
Within cells	2214201.130	273	81103.694		
Total	22218968.690	274			
Contrast	Difference	Bonferroni 95% CI			
MEDIA S v VEL.PRIMA	35.346	-35.753 to 106.446	no significant difference		

Figura 6: risultati di ANOVA: confronti tra misura di velocità ultrasonora effettuata su pilastro e su carota

Al fine di valutare quanto il lotto di 10 campioni possa rappresentare l'andamento della struttura (piano) si è individuato quale parametro indicativo la somma dei quadrati degli errori (**SSE**, Sum of Squared Errors), definiti come differenza tra il valore calcolato  $R_{calc}$  e il valore misurato con prova distruttiva  $R_{mis}$ . Tale parametro è quello che si minimizza con i calcoli di regressione: definito il rapporto  $SSE_{popolaz}/SSE_{selez10}$ , la scelta del lotto di 10 campioni risulterà tanto migliore quanto più il relativo valore di **SSE** sarà prossimo a quello ottenuto a partire dalla regressione sull'intera popolazione di campioni (se il rapporto degli **SSE** fosse pari a 1, la regressione del lotto di 10 campioni introdurrebbe mediamente lo stesso errore della regressione ottenuta a partire dall'intera popolazione di campioni e le due regressioni sarebbero pertanto equivalenti).

Le analisi così condotte hanno mostrato che scegliendo 10 campioni con velocità ultrasonore posizionate nella fascia medio alta si costruisce una buona correlazione su tutti i piani, salvo il piano 2 (Figure 7 e 8). Questa singolarità ha spinto ad indagare una diversa metodologia di scelta dei campioni individuando 10 elementi con deviazione standard della velocità ultrasonora prossima a quella dell'intera popolazione. In quest'ottica l'indagine è stata applicata agli stessi lotti di campioni già analizzati avendo come riscontro buone correlazioni a fronte di differenze contenute tra le deviazioni standard delle velocità ultrasonore.

Individuando poi lotti di 10 campioni, per il piano 2, con valore medio e deviazione standard delle velocità ultrasonore prossimi a quelli dell'intera popolazione, si sono ottenute curve di correlazione di gran lunga migliori rispetto a quelle individuate dalle precedenti scelte di campioni (Figure 9 e 10).

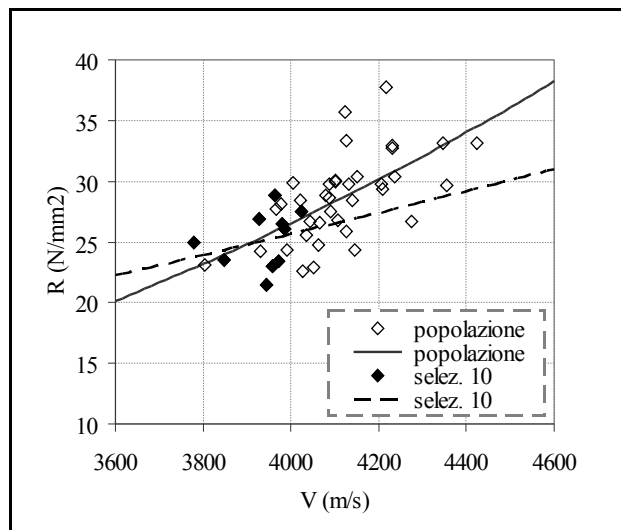
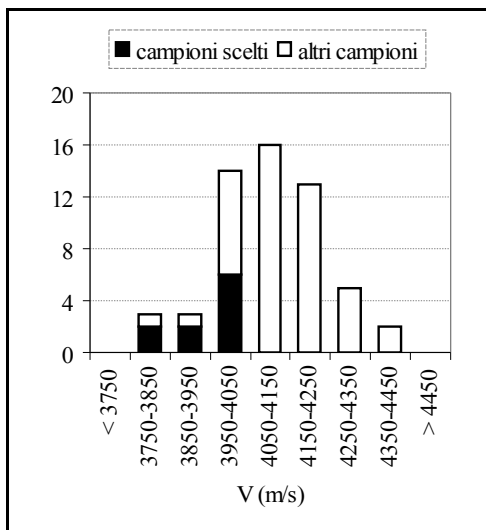


Figura 7 e 8: istogramma (caso scelta 10 campioni non rappresentativi) e curve di regressione

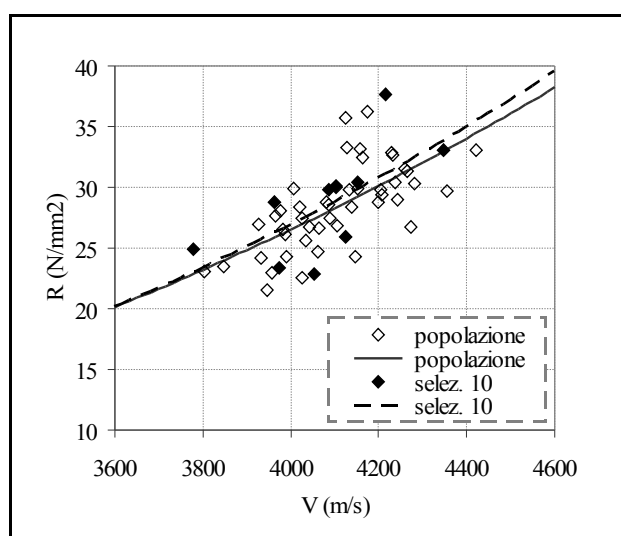
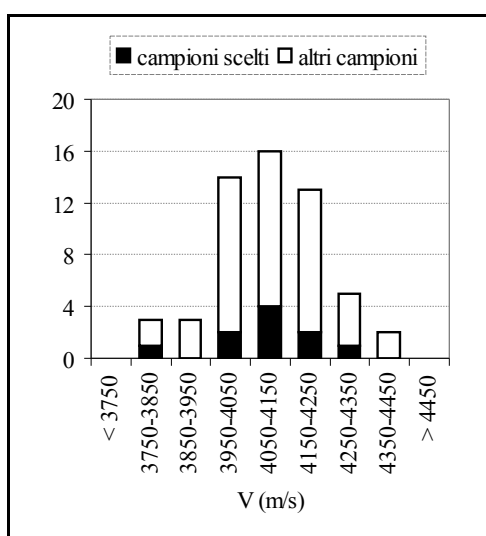


Figura 9 e 10: istogramma (caso scelta 10 campioni rappresentativi) e curve di regressione

Le indagini per verificare le ipotesi di scelta delle zone su cui effettuare i carotaggi sono in corso e prevedono un'analisi esaustiva di tutte le possibili decuple di carote. Per dare un'ordine di grandezza del problema, l'analisi esaustiva delle possibili decuple per il piano -1 della struttura di Punta Perotti porterà ad individuare e valutare oltre 404.600.000 possibili casi, mentre per il piano 2 si parlerà di ben oltre 2.425.800.000 possibili casi.

## CONCLUSIONI

Un'ampia campagna di prove non distruttive e distruttive su uno stesso edificio è stata realizzata al fine di studiare un metodo che permetta di costruire le curve di correlazione tra prove non distruttive e prove distruttive per la definizione della resistenza meccanica del calcestruzzo nella struttura. Questo al fine di supportare il tecnico nel momento della scelta dei punti di carotaggio. Per realizzare questo si è passati attraverso un approccio statistico alla questione. I risultati preliminari lasciano intravedere la possibilità, attraverso una preventiva campagna di indagini non distruttive ben pianificata e in seguito ad un'adeguata analisi statistica dei risultati, di identificare le zone più idonee da cui effettuare i carotaggi al fine di minimizzarne anche il numero. Ulteriori studi sono in corso per la messa a punto del metodo.



## BIBLIOGRAFIA

1. Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 3274 del 20 Marzo 2003 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” (pubblicata sulla G.U. del 8/5/2003)
2. “Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l’adeguamento sismico degli edifici esistenti”- OPCM 3431 (maggio 2005)
3. CEN (2004). European standard EN1998-3:2004: Eurocode 8: Design provisions for earthquake resistance of structures. Part 3: Assessment and retrofitting of buildings. European Committee for Standardisation.
4. A. Masi et al.- “Indagini sperimentali sulla variabilità della resistenza del calcestruzzo negli elementi strutturali di edificio esistenti in c.a.”- AIPnD Milano 2005
5. A. Masi- “L’adeguamento sismico del patrimonio edilizio pubblico: il ruolo delle indagini per la riduzione dei costi di intervento”- Atti del Convegno: “Controllo e monitoraggio di edifici in c.a. Il caso studio di Punta Perotti”- Bari, 20 giugno 2007
6. G. Fabbrocino et al.- “La misura della resistenza del calcestruzzo nelle strutture esistenti”- AIPnD Milano 2005
7. “Non destructive test methods for evaluation of concrete in structure”- ACI 228. 2R -98 (reapproved 2004)
8. N. Labia, F. Lazzaroni- “Il caso studio di Punta Perotti: prove diagnostiche in situ”- Convegno AIPnD Milano 2007
9. A. Tati et al.- “Confronti tra strumenti ultrasonori e sviluppo di nuova strumentazione dedicata”- AIPnD Milano 2007
10. “Analyse-it for Microsoft Excel”- <http://www.analyse-it.com/>
11. L. Soliani- “Statistica Applicata alla Ricerca e alle Professioni Scientifiche”- editore DispenseStatistica.com