

# **INFLUENZA DEL DIAMETRO DELLA CAROTA NELLA STIMA DELLA RESISTENZA A COMPRESSIONE DEL CALCESTRUZZO IN OPERA**

M.T. Cristofaro<sup>1</sup>, S. Barducci<sup>1</sup>, R. Nudo<sup>1</sup>, M. Tanganelli<sup>1</sup>, A. D'Ambrisi<sup>1</sup>, M. De Stefano<sup>1</sup>,  
R. Pucinotti<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Architettura – Sezione Materiali e Strutture – Università degli Studi di Firenze  
Piazza Brunelleschi, 6 – 50121 Firenze

<sup>2</sup> Dipartimento Patrimonio, Architettura, Urbanistica – Università Mediterranea di Reggio Calabria  
Via Melissari, Feo di Vito - 89124 Reggio Calabria

## **ABSTRACT**

La valutazione delle prestazioni strutturali di edifici esistenti in c.a. si basa su una serie di fattori tra i quali notevole importanza riveste la stima delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo. In particolare, le norme che disciplinano l'argomento prescrivono dei limiti dimensionali per le carote estratte che non sempre risultano di semplice attuazione a causa di problemi connessi, ad esempio, all'impegno statico dell'elemento strutturale indagato oppure a causa della distribuzione delle armature. In tali situazioni può essere opportuno ridurre al minimo il numero dei carotaggi, integrando gli stessi con indagini non distruttive di comprovata validità; in alternativa si potrebbe ricorrere alla riduzione del diametro delle carote. Il presente lavoro si colloca in tale contesto e si propone di indagare l'influenza del diametro della carota nella stima della resistenza a compressione del calcestruzzo in opera. Per tale scopo è stato utilizzato un numero consistente di carote di diverso diametro estratte da elementi strutturali (travi e pilastri) provenienti da un edificio scolastico sottoposto a demolizione controllata. I risultati della campagna sperimentale hanno dimostrato che le resistenze ottenute non risultano influenzate significativamente dal diametro della carota e dalle dimensioni dell'inerte.

## **INTRODUZIONE**

Per la stima della resistenza a compressione del calcestruzzo di edifici esistenti, il metodo semidistruttivo diretto del carotaggio è quello che fornisce i valori più prossimi a quelli valutati su provini standard, purché le prove siano condotte nel rispetto delle indicazioni fornite dalle norme. Tali prove sono disciplinate dalle Norme UNI EN [UNI EN 12504-1, 2009], le quali indicano la metodologia da seguire per il prelievo delle carote, per la preparazione dei provini, per l'esecuzione delle prove e per la determinazione della resistenza a compressione. È importante sottolineare che le carote, dopo la loro estrazione, sono sottoposte ad un rigoroso esame al termine del quale si decide se le stesse risultano idonee per essere utilizzate per la preparazione dei provini. Un fattore importante che può determinare l'esclusione di una carota è dato dalla presenza di armature al suo interno. Per evitare tali inconvenienti l'operazione di carotaggio è preceduta da una fase di rilievo delle armature longitudinali e trasversali, condotta mediante indagine pacometrica.

Per quanto riguarda il prelievo delle carote esiste un'ampia trattazione scientifica [Giacchetti R. et al, 2005], [Menditto G. et al, 2008], [Pucinotti R., 2006] corredata da una solida base normativa che disciplina l'argomento [UNI EN 12504-1:2009] [Linee Guida Cons. Sup. LL. PP., 2008]; tra le diverse raccomandazioni, particolare importanza assume l'indicazione del diametro della carota che deve essere pari ad almeno tre volte la massima dimensione dell'inerte. Nella pratica corrente però, non sempre è possibile rispettare tali limiti dimensionali, principalmente per due ragioni:

1. La prima è legata al tasso di lavoro e alle dimensioni della sezione dell'elemento indagato. In particolare si preferisce escludere dalle operazioni di carotaggio gli elementi strutturali che presentano un tasso di lavoro superiore al 60-70% della capacità resistente della sezione; ne risulta che per elementi strutturali aventi sezione contenuta è preferibile intervenire con diametri piccoli in modo da non determinare una riduzione eccessiva della sezione resistente in seguito al prelievo.
2. Il secondo motivo è legato alla possibile presenza di un numero elevato di armature longitudinali e trasversali che, per disposizione e diametro, interferiscono in modo significativo con il prelievo delle carote.

E' importante sottolineare, in aggiunta, che non sempre è possibile individuare a priori la dimensione massima dell'inerte ai fini della definizione del diametro ottimale della carota. Dalle considerazioni sopra riportate emerge pertanto la necessità di studiare l'influenza del diametro della carota, e del suo rapporto con le dimensioni dell'inerte, sulla resistenza a compressione del calcestruzzo ricavato da edifici esistenti in c.a.. Nel presente lavoro, in particolare, sono riportati i risultati relativi ad una campagna di prove semidistruttive dirette che ha interessato 235 provini di diverso diametro ricavati da carote estratte da 8 elementi strutturali in c.a. prelevati da un edificio durante la sua demolizione.

## CAMPAGNA SPERIMENTALE

La campagna sperimentale di seguito illustrata si riferisce ad una serie di carotaggi eseguiti su elementi strutturali prelevati dalla palestra della scuola media del comune di San Godenzo (FI), a seguito della sua demolizione. La struttura, realizzata in c.a. intorno alla metà degli anni '70, è stata oggetto di una campagna diagnostica da parte della Regione Toscana; si ritiene utile sottolineare che la demolizione dell'edificio non è da imputare alla qualità del calcestruzzo, bensì a problemi riscontrati nelle modalità realizzative dell'opera stessa ed in particolare all'esecuzione dei dettagli strutturali. Da tale struttura sono stati prelevati otto porzioni di elementi strutturali (due travi e sei pilastri), successivamente stoccati in ambiente esterno per simulare condizioni ambientali sfavorevoli. Per ciascuno dei suddetti elementi è stata individuata la posizione delle armature metalliche, mediante indagine pacometrica; in particolare la posizione delle armature trasversali ha consentito di definire, per ciascun elemento, una successione di quadranti all'interno dei quali sono state ricavate il maggior numero possibile di carote con diametro variabile tra 44 e 104 mm (diametro della corona diamantata della macchina carotatrice variabile tra 52 e 112 mm). I dati relativi alla geometria di ciascun elemento ed ai carotaggi eseguiti sono riportati in Tabella 1; in Figura 1 sono evidenziati i quadranti precedentemente descritti e le posizioni dei carotaggi eseguiti.

Tabella 1: Dati relativi ai carotaggi eseguiti su ciascun elemento indagato.

Elemento	Tipologia elemento	Sezione BxH [mm]	Passo staffe [mm]	Quadranti indagati [n°]	Diametro carote						Totale carote
					φ44 [mm]	φ54 [mm]	φ74 [mm]	φ84 [mm]	φ94 [mm]	φ104 [mm]	
1	Trave	300x450	300	7	11	3	7	6	4	-	31
2	Pilastro	300x400	120/200	7	6	3	2	4	-	2	17
3	Trave	300x400	290	4	12	5	3	4	1	4	29
4	Pilastro	300x400	150	8	6	5	5	4	-	5	25
5	Pilastro	300x400	290	6	9	8	4	4	-	5	30
6	Pilastro	300x400	300	8	16	14	7	9	-	10	56
7	Pilastro	300x400	140	12	3	10	6	6	-	-	25
8	Pilastro	300x400	120	7	8	3	5	4	-	2	22
Totale carote					71	51	39	41	5	28	<b>235</b>

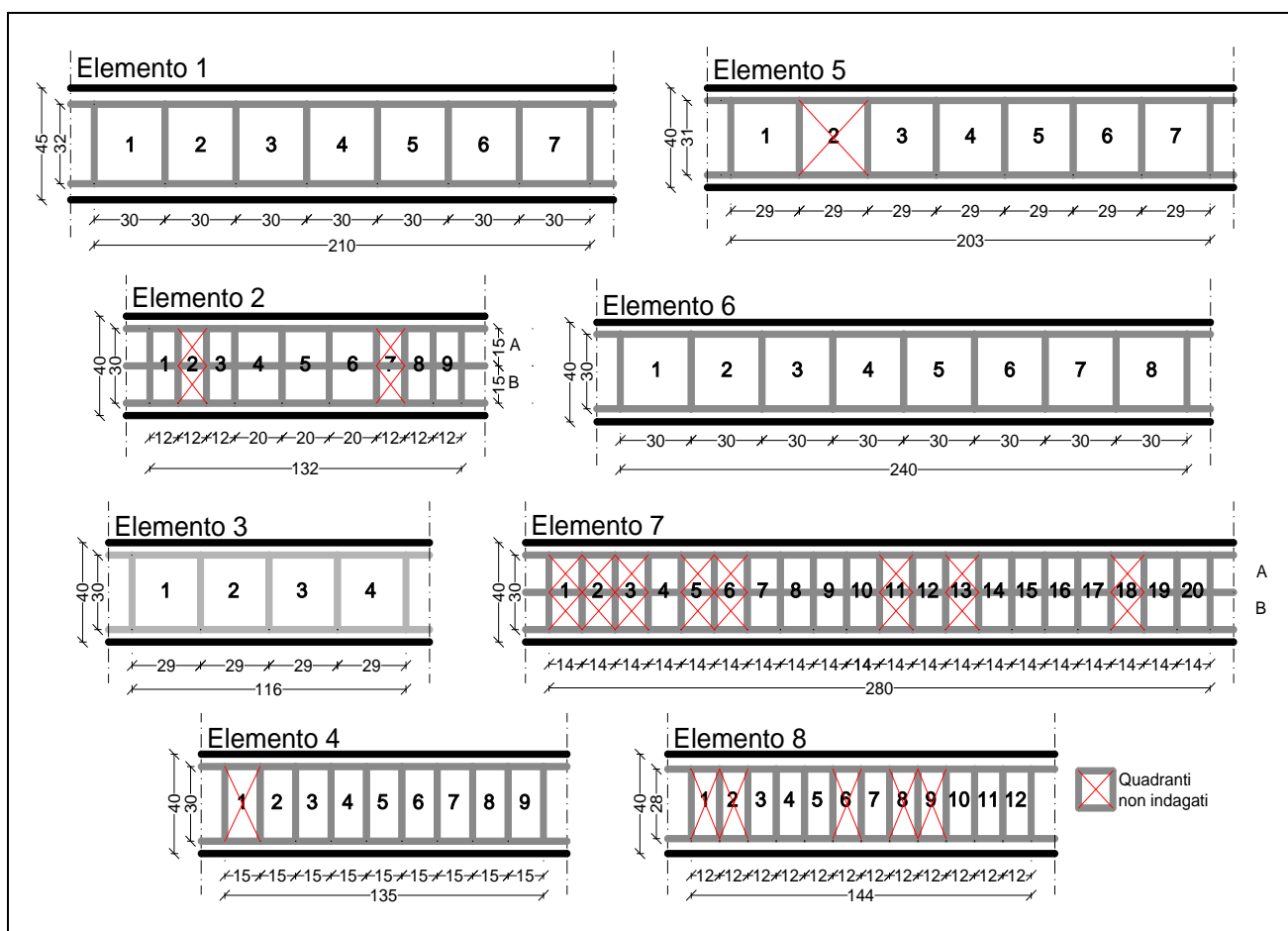


Figura 1: Geometria e quadranti degli elementi strutturali indagati.

Le carote estratte sono state opportunamente pesate, tagliate e rettificate in modo da ottenere un rapporto tra altezza e diametro ( $\lambda=h/\phi$ ) pari a 2. Dalle carote con  $\phi = 44$  mm è stato possibile ricavare due provini (Figura 2); tale operazione non è stata possibile per le perforazioni di diametro  $\phi = 54$  mm e superiori per ovvie ragioni legate alle operazioni di rettifica.



Figura 2: Rettifica eseguita su carota con  $\phi = 44$  mm.

## RISULTATI

Tutti i provini sono stati sottoposti a prova di rottura per compressione secondo le norme UNI EN 12390-3, 2003 e UNI EN 12390-4, 2003]; dai risultati ottenuti sono stati ricavati la resistenza media ( $f_{car\_med.}$ ), la deviazione standard (Dev. Stand.) ed il coefficiente di variazione (Cov.), riportati in Tabella 2 in funzione dei sei diametri adottati. Dall'esame di tali risultati si evince come non vi sia una variazione sostanziale di resistenza al variare del diametro. In particolare le carote aventi diametro  $\phi$  54,  $\phi$  74 e  $\phi$  84 mm, restituiscono valori di resistenza molto simili tra loro (intorno a 37 MPa), con Cov. compresa tra il 14% ed il 19%, dimostrando così una bassa dispersione dei valori. Tali risultati trovano conferma in Figura 3 in cui si riportano le distribuzioni normali delle resistenze in funzione del diametro della carota. In particolare si osserva che la curva relativa ai provini con  $\phi = 44$  mm è quella che presenta la maggiore ampiezza e dunque la maggiore dispersione, con Dev. Stand. pari a 11 MPa; le restanti curve evidenziano invece un andamento abbastanza simile tra loro. Tali evidenze sembrano confermare i risultati di altri lavori presenti in letteratura; in particolare è stato osservato che la variazione delle resistenze in funzione delle dimensioni della carota risulta essere maggiormente apprezzabile per calcestruzzi di resistenza contenuta [Cristofaro M.T. et al., 2010, 2011].

Tabella 2: Risultati delle  $f_{car\_med.}$  in funzione del diametro della carota.

	$\phi$ 44	$\phi$ 54	$\phi$ 74	$\phi$ 84	$\phi$ 94	$\phi$ 104
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
$f_{car\_med.}$ [MPa]	34.28	37.59	36.91	38.26	44.50	35.45
Dev. Stand. [MPa]	11.06	7.25	5.13	7.06	5.81	6.16
Cov. [%]	32	19	14	18	13	17

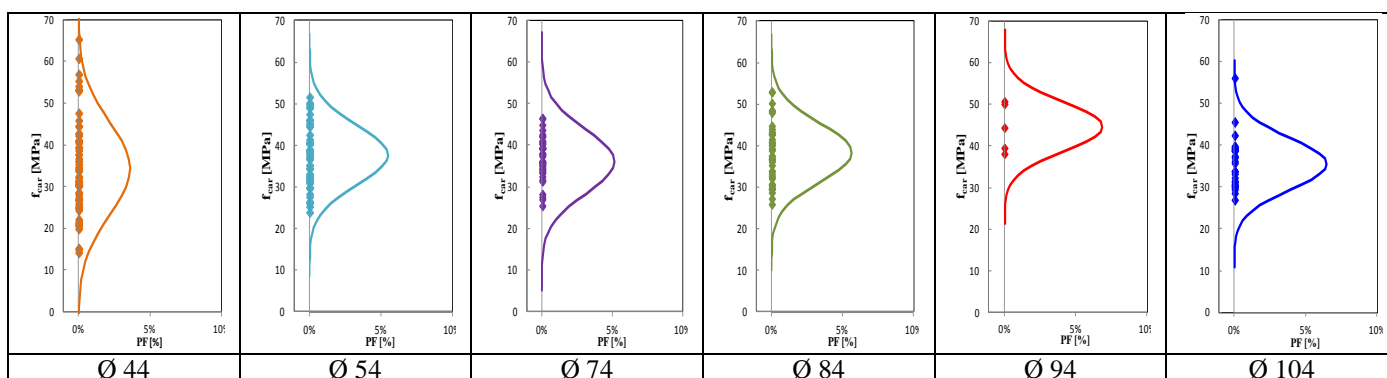


Figura 3: Distribuzioni normali della resistenza in funzione del diametro della carota.

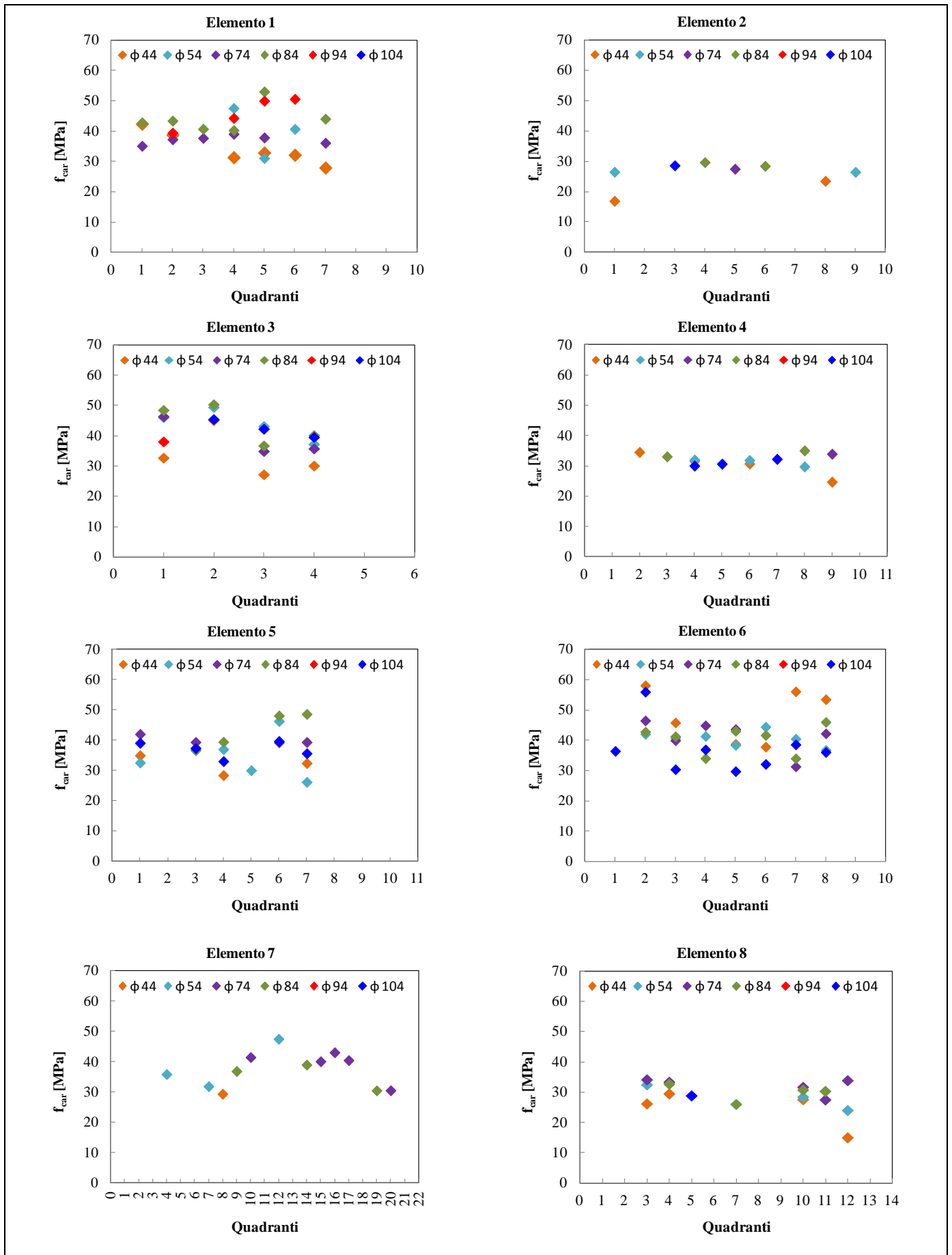


Figura 4: Valori di  $f_{car}$  al variare del diametro per gli otto elementi esaminati.

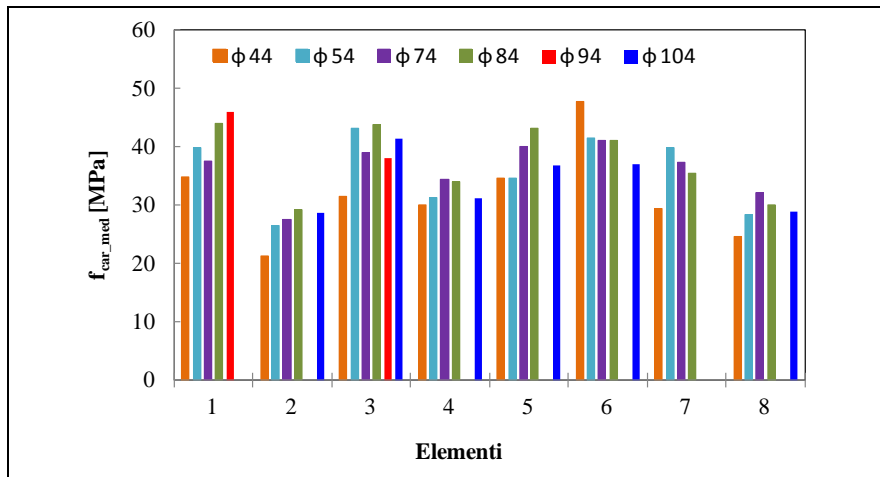


Figura 5: Valori di  $f_{car\_med}$  al variare del diametro per gli otto elementi indagati.

In Figura 4 si riportano le resistenze ottenute su ciascun elemento indagato al variare del diametro della carota e per i diversi quadranti. Da tali risultati non emerge un legame preciso tra resistenza e diametro della carota, come peraltro riscontrabile in Figura 5, dove sono riportati le resistenze medie per singoli elementi.

Nel presente lavoro è stata altresì indagata l'influenza della dimensione dell'inerte sulla resistenza della carota, problema già studiato in letteratura [Barbarito B., 1973, 1993]. In particolare, l'esame delle carote prima e dopo la prova di compressione ha messo in evidenza tre aspetti connessi tra loro: i) presenza di inerti sia a spigolo vivo che arrotondato; ii) buona adesione tra inerti e legante; iii) buona qualità del legante.

Considerando l'insieme dei provini esaminati, costituiti da un calcestruzzo proveniente dallo stesso manufatto, si rileva che al variare della dimensione degli inerti non si ottiene una sostanziale variazione della resistenza  $f_{car}$ , con contenuta dispersione dei risultati. In dettaglio, la Figura 6 rappresenta l'andamento della  $f_{car\_med}$ , calcolata in ciascun elemento per i sei diametri adottati, in funzione della dimensione media e massima degli inerti presenti in ciascuna serie di provini come anche riportato in Tabella 3.

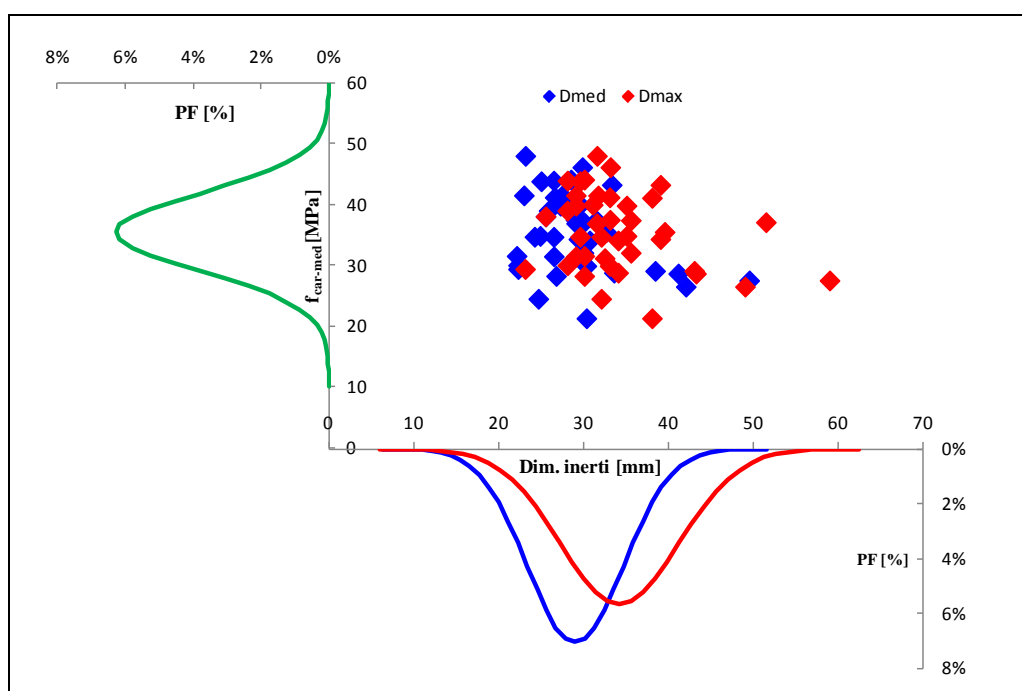


Figura 6: Variazione di  $f_{car\_med}$  al variare della dimensione dell'inerte.

Tabella 3: Risultati delle  $f_{car\_med}$ . e degli inerti in funzione del diametro della carota.

Elemento		$\phi 44$ [mm]	$\phi 54$ [mm]	$\phi 74$ [mm]	$\phi 84$ [mm]	$\phi 94$ [mm]	$\phi 104$ [mm]
<b>1</b>	$f_{car\_med}$ [MPa]	34.86	39.81	37.49	44.08	46.11	-
	$D_{med}$ [mm]	24.77	27.17	28.96	28.42	29.76	-
	$D_{max}$ [mm]	35.00	29.00	33.03	30.00	33.08	-
<b>2</b>	$f_{car\_med}$ [MPa]	21.37	26.55	27.56	29.13	-	28.69
	$D_{med}$ [mm]	30.25	42.00	49.50	38.38	-	41.11
	$D_{max}$ [mm]	38.00	49.00	59.00	43.00	-	43.21
<b>3</b>	$f_{car\_med}$ [MPa]	31.58	43.80	39.00	43.91	38.06	41.47
	$D_{med}$ [mm]	22.00	24.90	25.78	26.38	25.42	27.37
	$D_{max}$ [mm]	30.00	29.50	27.98	28.00	25.42	31.63
<b>4</b>	$f_{car\_med}$ [MPa]	30.06	31.51	34.34	34.10	-	31.21
	$D_{med}$ [mm]	22.17	26.40	29.30	30.63	-	29.71
	$D_{max}$ [mm]	28.00	29.00	39.00	34.00	-	32.41
<b>5</b>	$f_{car\_med}$ [MPa]	34.72	34.71	39.97	43.22	-	36.92
	$D_{med}$ [mm]	24.11	26.38	29.50	33.25	-	29.03
	$D_{max}$ [mm]	29.50	32.00	31.00	39.00	-	31.47
<b>6</b>	$f_{car\_med}$ [MPa]	47.97	41.50	41.18	41.09	-	37.10
	$D_{med}$ [mm]	23.03	22.86	26.50	27.39	-	29.94
	$D_{max}$ [mm]	31.50	29.00	33.00	38.00	-	51.47
<b>7</b>	$f_{car\_med}$ [MPa]	29.43	39.82	37.42	35.51	-	-
	$D_{med}$ [mm]	22.17	28.65	31.42	32.58	-	-
	$D_{max}$ [mm]	23.00	35.00	35.50	39.50	-	-
<b>8</b>	$f_{car\_med}$ [MPa]	24.56	28.30	32.10	29.96	-	28.84
	$D_{med}$ [mm]	24.56	26.67	29.90	30.25	-	33.50
	$D_{max}$ [mm]	32.00	30.00	35.50	33.00	-	34.00

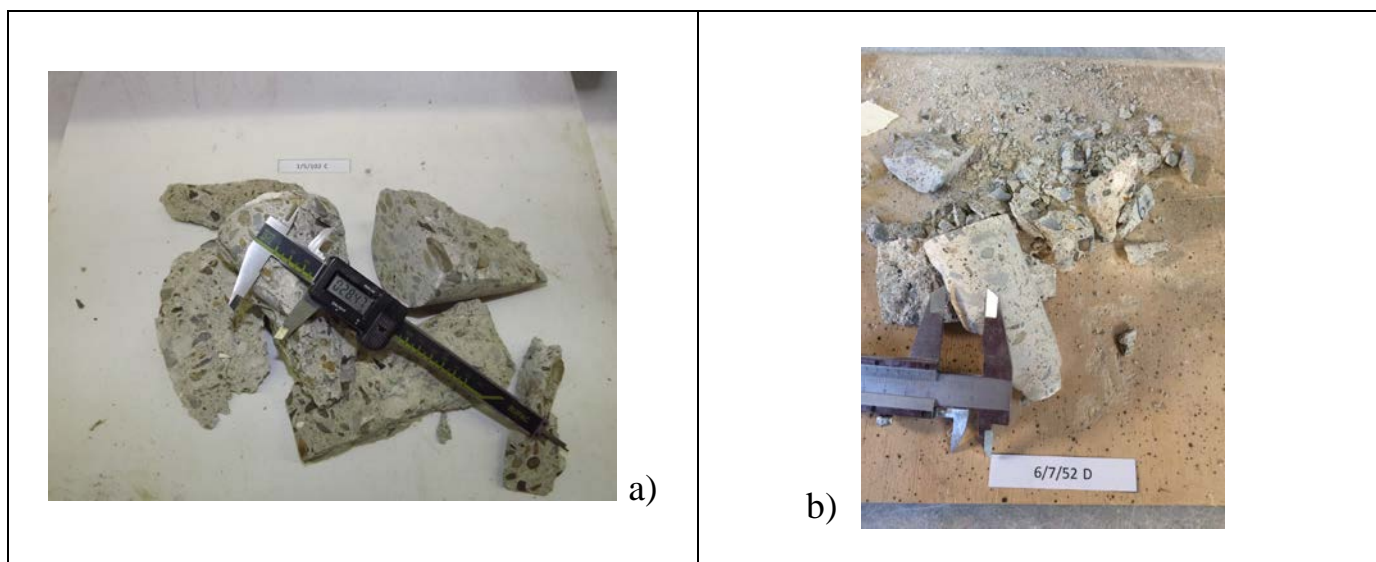


Figura 7: Misurazione inerti - provino  $\phi$  94 mm (a) ; provino  $\phi$  44 mm (b).

Dal grafico emerge come l'assunzione del valore medio della dimensione dell'inerte a fronte di quello avente dimensione massima restituisca un andamento della distribuzione normale rappresentativo di un campione con limitata dispersione dei dati.

In Figura 7 sono rappresentati due provini dopo l'esecuzione della prova di compressione; in Figura 7a) è riportato un provino con  $\phi = 94$  mm, caratterizzato da inerte con dimensione massima ( $D_{max}$ ) di 28.5 mm e dunque con rapporto  $\phi/D_{max} > 3$  (resistenza

corrispondente = 50 MPa); in Figura 7b) è raffigurato un provino con  $\phi = 44$  mm,  $D_{\max} = 19$  mm, rapporto  $\phi/D_{\max} < 3$  ( $f_{\text{car}} = 56$  MPa). In particolare è stato rilevato che nella maggior parte dei casi l'inerte è rimasto ben legato alla matrice cementizia; anche nel caso di piccole dimensioni non si è verificata una diminuzione della sezione resistente del provino durante l'esecuzione delle prove.

In Figura 8 sono riportate le distribuzioni di  $f_{\text{car}}$  e  $\phi/D_{\max}$  per tutti i provini esaminati. In particolare si evince che il rapporto ideale  $\phi/D_{\max} = 3$  si discosta di circa il 23 % dal valore medio riscontrato per detto rapporto, pari a 2.44, con PF = 41%. La legge che si ottiene da tale distribuzione attribuisce al valore  $x=3$  una resistenza  $f_{\text{car}} = 37.9$  MPa; per  $x=1$  si ha  $f_{\text{car}} = 32.7$  MPa, con una riduzione del 16%, mentre per  $x=5$  si ha  $f_{\text{car}} = 43.2$  MPa con un incremento del 14%.

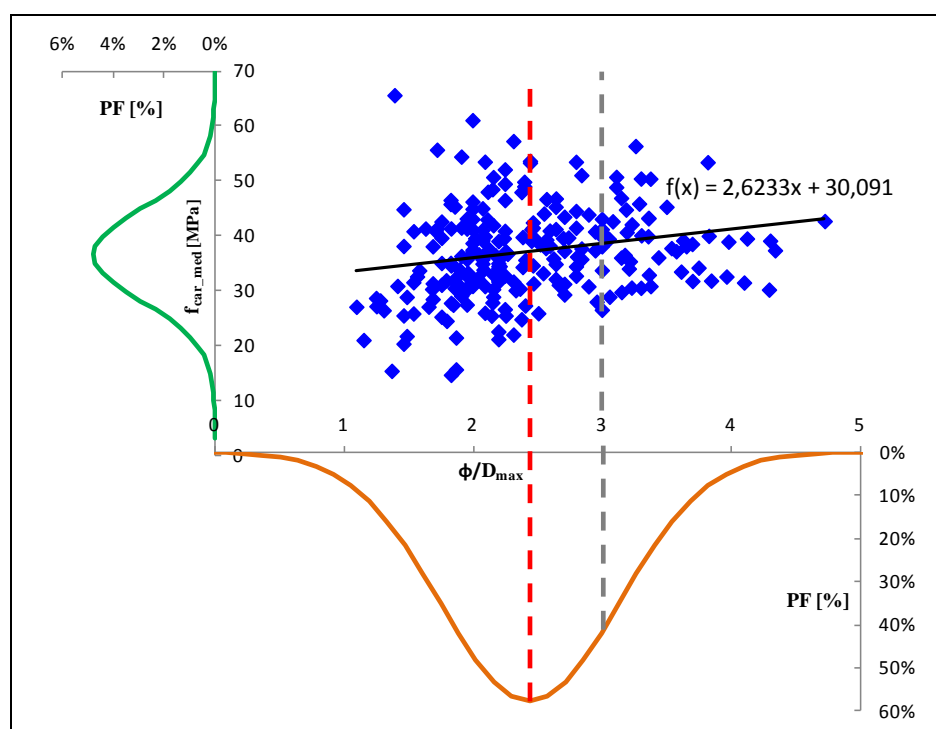


Figura 8: Distribuzioni normali di  $f_{\text{car\_med}}$  e  $\phi/D_{\max}$ .

## CONCLUSIONI

E' stata sviluppata un'indagine finalizzata alla valutazione dell'influenza di opportuni parametri geometrici (diametro della carota, dimensioni degli inerti) sulla resistenza di carote estratte da elementi strutturali appartenenti ad un edificio scolastico. In particolare l'indagine ha interessato 8 elementi (2 travi e 6 pilastri) da cui sono state estratte 235 carote di diametro variabile tra 44 e 104 mm; le diverse fasi di estrazione e preparazione delle carote e di esecuzione delle prove di compressione sono state eseguite nel rispetto delle disposizioni normative (Norme UNI EN).

Nel caso del calcestruzzo analizzato, appartenente ad un unico edificio e caratterizzato da resistenze medio-alte, i risultati hanno mostrato un'influenza poco significativa del diametro della carota e delle dimensioni dell'inerte sulla resistenza a compressione. L'indagine, che si è peraltro avvalsa di valutazioni probabilistiche, non ha evidenziato pertanto una relazione chiara di dipendenza tra i parametri dimensionali esaminati e le



corrispondenti resistenze. Ciò vale per tutti i diametri presi in considerazione e pertanto anche per i diametri minori, per i quali non è stata rilevata una significativa sottostima della resistenza del calcestruzzo. Tuttavia è importante sottolineare che i risultati ottenuti si riferiscono ad un campione omogeneo, proveniente da uno stesso edificio. Sarebbe auspicabile estendere le indagini a materiali caratterizzati da resistenze diversificate, al fine di pervenire a risultati più generali che tengano conto della qualità del calcestruzzo. Ciò al fine di pervenire a stime più sicure delle prestazioni statiche di edifici esistenti in c.a..

## BIBLIOGRAFIA

- Barbarito B. (1973). Sulla validità delle prove su carote prelevate da conglomerato indurito, *L'Industria Italiana del Cemento*, ottobre 1974.
- Barbarito B. (1993). *Collaudo e risanamento delle strutture*, Utet Libreria, 1993.
- Consiglio Superiore LL.PP. – Servizio Tecnico Centrale (2008). *Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive*.
- Cristofaro M.T., D'Ambrisi A., De Stefano M., Tanganelli M. (2010). *Resistenza a compressione di calcestruzzi prelevati da edifici esistenti*”, in atti del Convegno *Lezioni dai Terremoti: Fonti di Vulnerabilità, Nuove Strategie Progettuali, Sviluppi Normativi*, 8 ottobre 2010, Chianciano Terme, Italia.
- Cristofaro M.T., D'Ambrisi A., De Stefano M., Tanganelli M. (2011). *Concrete compressive strength extracted from existing buildings*, Proc. *The New Boundaries of Structural Concrete*, Università Politecnica delle Marche – ACI Italy Chapter, 15-16 settembre 2011, Ancona, Italia.
- Giacchetti R., Bufarini S. e D'Aria V. (2005). *Controllo strutturale degli edifici in cemento armato e muratura*, EPC LIBRI s.r.l., Roma, 2005.
- Menditto G. e Menditto S. (2008). *Indagini semidistruttive e non distruttive nell'ingegneria civile: disciplina tecnica, applicativa e normativa*, Pitagora Editrice s.r.l., Bologna, 2008.
- Pucinotti R., (2006). *Patologia e Diagnostica del Cemento Armato (Indagini non Distruttive e Carotaggi nelle Opere da Consolidare)*, Dario Flaccovio Editore.
- UNI EN 12504-1 (2009). *Prove sul calcestruzzo nelle strutture – carote – Prelievo, esame e prova di compressione*.
- UNI EN 12390-3 (2003). *Prova sul calcestruzzo indurito – Resistenza alla compressione dei provini*.
- UNI EN 12390-4 (2002). *Prova sul calcestruzzo indurito – Resistenza alla compressione – Specifiche per macchine di prova*.