

# **PROVE DISTRUTTIVE E NON DISTRUTTIVE SU MATERIALI ED ELEMENTI STRUTTURALI DI EDIFICI ESISTENTI IN CEMENTO ARMATO**

A. Masi, M. Vona

*DiSGG- Università degli studi della Basilicata, Potenza*

## **1 INTRODUZIONE**

I più recenti riferimenti normativi sia nazionali che internazionali, [OPCM 3274, 2003] e successive modifiche, [EC8, CEN 2004], hanno introdotto forti elementi di novità nel campo della valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici esistenti. In un approccio moderno e in netta rottura con il passato è stato introdotto come principio fondante, rispetto alla valutazione di sicurezza ed alla successiva scelta di intervento, l'obbligo di condurre delle indagini specifiche finalizzate a caratterizzare la struttura dal punto di vista delle caratteristiche dei materiali e dei dettagli costruttivi.

Di rilevante importanza è l'individuazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo in situ ed in particolar modo la sua resistenza a compressione. Tali grandezze influenzano in modo determinante sia la resistenza dei singoli elementi strutturali sia il comportamento della struttura nel suo insieme nonché le caratteristiche di durabilità della stessa. La determinazione operativa avviene utilizzando prove e metodologie estremamente differenti tra loro. La scelta delle metodologie di prova e delle procedure da seguire in situ dipendono dalla capacità delle stesse di fornire risultati in modo affidabile ma non eccessivamente oneroso e invasivo.

Le metodologie di indagine in situ possono essere di tipo distruttivo e non distruttivo. Le prime sono tecnicamente più delicate da eseguire ed onerose. Di conseguenza sono in genere possibili solo un numero limitato di prelievi ed i risultati ottenuti potrebbero non essere rappresentativi delle caratteristiche globali della struttura ai fini della stima della resistenza di calcolo. Peraltro, come confermato da precedenti lavori, in alcuni casi i valori ottenuti all'interno di uno stesso elemento strutturale possono presentare una variabilità elevata.

Il carotaggio, la cui esecuzione è regolamentata ed è stata eseguita nel presente lavoro seguendo le indicazioni contenute nella UNI EN 12504-1 [UNI, 2002], è senza dubbio il tipo di prova distruttivo più diffuso. Esso consente di determinare la resistenza del conglomerato in maniera analoga a quella adottata per i campioni standard. Come già detto in generale per le indagini, ed ancor più nel caso dei carotaggi per il loro carattere fortemente invasivo, particolare attenzione va riservata alla scelta dei prelievi. In termini generali, i prelievi vanno effettuati in maniera casuale, senza privilegiare zone particolari, in modo tale da poter ritenere i risultati ottenuti statisticamente rappresentativi delle proprietà del materiale dell'intera struttura. Qualora si ritenesse necessario privilegiare zone particolari, ad esempio laddove il calcestruzzo si presenti particolarmente degradato o di scarsa qualità, si dovrebbero individuare diversi ambiti omogenei, mantenendo i risultati relativi alle diverse zone separati tra loro. Nell'ambito dei singoli elementi, vanno scelte le zone meno sollecitate nell'ambito dell'elemento strutturale e il prelievo deve essere preceduto da accurate rilevazioni pacometriche, in modo da individuare ed evitare le barre di armatura (almeno quelle principali). Non può in ogni caso essere dimenticata l'intrinseca variabilità dei risultati ottenuti da questo tipo di prova come già evidenziato in precedenti lavori [Masi et al, 2007]. Inoltre, pur operando con

estrema precisione e cautela nell'esecuzione dei prelievi è evidente che notevoli sono i problemi in merito all'interpretazione dei risultati ed alla loro estendibilità addirittura nell'ambito di uno stesso elemento strutturale. Infine, la resistenza misurata sulle carote  $f_{c,car}$  risente di numerosi fattori che la differenziano da quella del calcestruzzo in-situ  $f_{c,insitu}$  quali la posizione del prelievo nell'ambito dell'elemento strutturale (al piede o alla testa di un pilastro, parallelamente o ortogonalmente alla direzione di getto), fattori di forma, disturbo in fase di prelievo, presenza di armature incluse.

Le prove di tipo non distruttivo sono di semplice applicazione ma, stimando in modo indiretto le proprietà meccaniche del calcestruzzo, sono condizionate da numerosi fattori ed il loro utilizzo esclusivo può determinare risultati poco affidabili (vedi [Masi, 2005], [Dolce et al. 2006]). Inoltre, pur non essendo distruttive rispetto alla parte strutturale, si rivelano fortemente invasive rispetto alla parte non strutturale tale da rendere, infine, i costi paragonabili a quelli delle prove distruttive.

Nel seguito sono presentati i risultati di due ampie campagne di indagini sperimentali condotte su alcuni elementi strutturali (travi e pilastri) estratti da edifici esistenti in c.a.. In particolare, sono state indagate le proprietà del calcestruzzo costituente ben 14 elementi strutturali (4 travi e 10 pilastri) estratti dalla Scuola Media "Fantoni" di Fivizzano (MS) e di due elementi, una trave ed un pilastro, estratti da un edificio scolastico realizzato negli anni '50 nel comune di Aulla in Toscana.

Nel presente lavoro, dopo aver presentato in modo sintetico i risultati delle indagini condotte e le relative elaborazioni, saranno analizzati i risultati delle prove di compressione eseguite su campioni prelevati in differenti direzioni rispetto alla direzione del getto di esecuzione dell'elemento e delle modalità di lavoro in opera dello stesso. Infine, è valutato il ruolo del rapporto tra altezza delle carote e diametro delle stesse ( $h/D$ ).

## 2 I CASI STUDIO

La sperimentazione riguarda elementi strutturali estratti da due edifici in corso di demolizione. Di seguito sono brevemente richiamate le caratteristiche degli elementi e degli edifici da cui sono stati estratti.

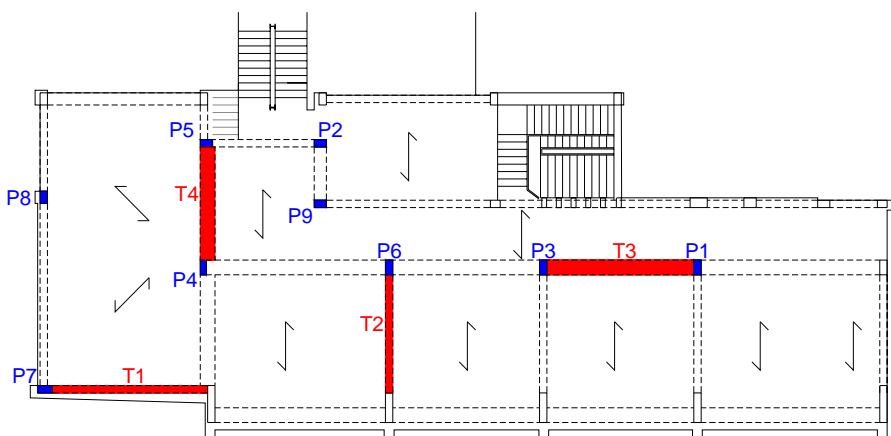


Figura 1. Schema strutturale della parte di scuola in esame e collocazione planimetrica dei campioni estratti (travi in rosso, pilastri in blu).

Il primo edificio, ad uso scolastico, era situato nel comune di Fivizzano (MS) ed era parte di un complesso di tre corpi differenti sia per destinazione d'uso che per forma e tipologia costruttiva. Il complesso fu progettato e realizzato nel 1959, in assenza di classificazione sismica e considerando le sole azioni gravitazionali, ma la parte da cui sono stati estratti i campioni oggetto di indagine è stata realizzata nel 1977 come sopraelevazione dell'edificio originario, sempre considerando i soli carichi gravitazionali. Tale parte aggiunta, anch'essa con struttura intelaiata in c.a. gettato in opera, alla luce dei risultati delle indagini in situ e delle valutazioni di vulnerabilità condotte tra il 2000 ed il 2002 dalla Regione Toscana, è stata demolita. Nella progettazione e realizzazione delle strutture (materiali, dettagli costruttivi, metodi di verifica, ecc.) si è fatto riferimento alle norme all'epoca vigenti, ossia la Legge 1086 del 1971 ed i successivi Decreti Ministeriali di attuazione. Le caratteristiche dimensionali ed i dettagli di armatura, relativi ai 10 pilastri (di seguito indicati come P\_F) ed alle 4 travi (di seguito indicate come T\_F) oggetto di indagine (figura 1), così come risulta dai rilievi e sondaggi effettuati, sono riportati nel lavoro [Masi et al., 2007] al quale si rimanda.

Il secondo edificio scolastico, da cui sono stati estratti una trave, un pilastro (di seguito indicati rispettivamente come T\_A e P\_A) ed un nodo da testare in laboratorio (figura 2), è stato realizzato negli anni '50 nel comune di Aulla in Toscana, era anch'esso stato progettato per soli carichi verticali. Maggiori dettagli sono riportati nel lavoro [Masi et al. 2005].

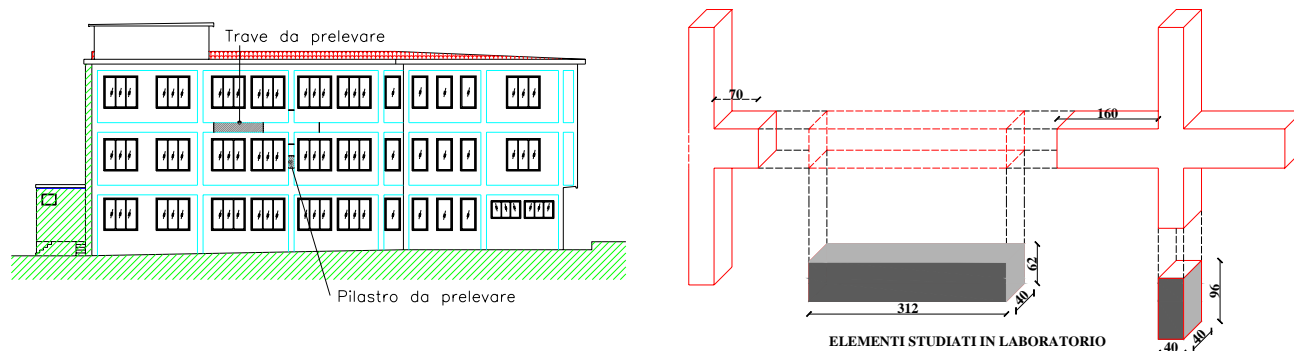


Figura 2. Posizione degli elementi strutturali estratti dall'edificio scolastico di Aulla

### 3 LA CAMPAGNA SPERIMENTALE

Il programma di ricerca è stato sviluppato eseguendo, per tutti gli elementi strutturali disponibili, una serie di indagini finalizzate alla caratterizzazione approfondita degli stessi in termini di dettagli costruttivi e caratteristiche dei materiali. Preliminarmente, su tutti gli elementi, è stata eseguita un'ampia indagine pacometrica, rivolta a determinare la posizione delle barre di armatura lungo tutto l'elemento strutturale che consentisse la predisposizione di un reticolo di riferimento, riferito alla presenza delle armature longitudinali e trasversali, all'interno del quale effettuare le successive misure.

Le prove sclerometriche sono state effettuate ortogonalmente alle facce seguendo le indicazioni contenute nella norma UNI EN 12504-2 [UNI EN, 2001]. Le prove ultrasoniche, utilizzate tra l'altro anche al fine di individuare eventuali difetti e danneggiamenti del calcestruzzo come ad esempio fessure, cavità ecc., sono state condotte seguendo le indicazioni della norma UNI EN 12504-4 [UNI EN, 2005]. Le indagini sono

state eseguite sia con il metodo diretto, o metodo per trasparenza, che con il metodo indiretto, o per superficie.

Sulle travi è stata eseguita un'ampia campagna di indagini, non distruttive e distruttive, che consentisse di individuare l'andamento delle caratteristiche lungo l'elemento strutturale, con l'obiettivo anche di valutare se, ed in quale misura, le condizioni di funzionamento dell'elemento strutturale potessero aver influito sulle resistenze locali del calcestruzzo. Analoghe indagini sono state eseguite sulla trave estratta dalla scuola di Aulla. Complessivamente sono stati estratti 36 campioni. Di particolare interesse è l'aver estratto 6 provini in direzione parallela al getto del calcestruzzo in fase di esecuzione ed altri 7 provini in direzione parallela all'asse della trave (figura 3).

I pilastri estratti dalla scuola di Fivizzano sono stati suddivisi in due gruppi, in funzione delle caratteristiche e delle condizioni degli stessi in termini di degrado superficiale del calcestruzzo. Per i pilastri del primo gruppo, meno degradati, è previsto il prelievo di una carota per ciascun elemento prima della esecuzione della prova di compressione sull'elemento ripristinato ai fini della valutazione degli effetti delle operazioni di prelievo/ripristino. Nell'altro gruppo è invece previsto il prelievo di un più ampio numero di carote per ciascun elemento. Per entrambi i gruppi sono state eseguite numerose prove non distruttive.

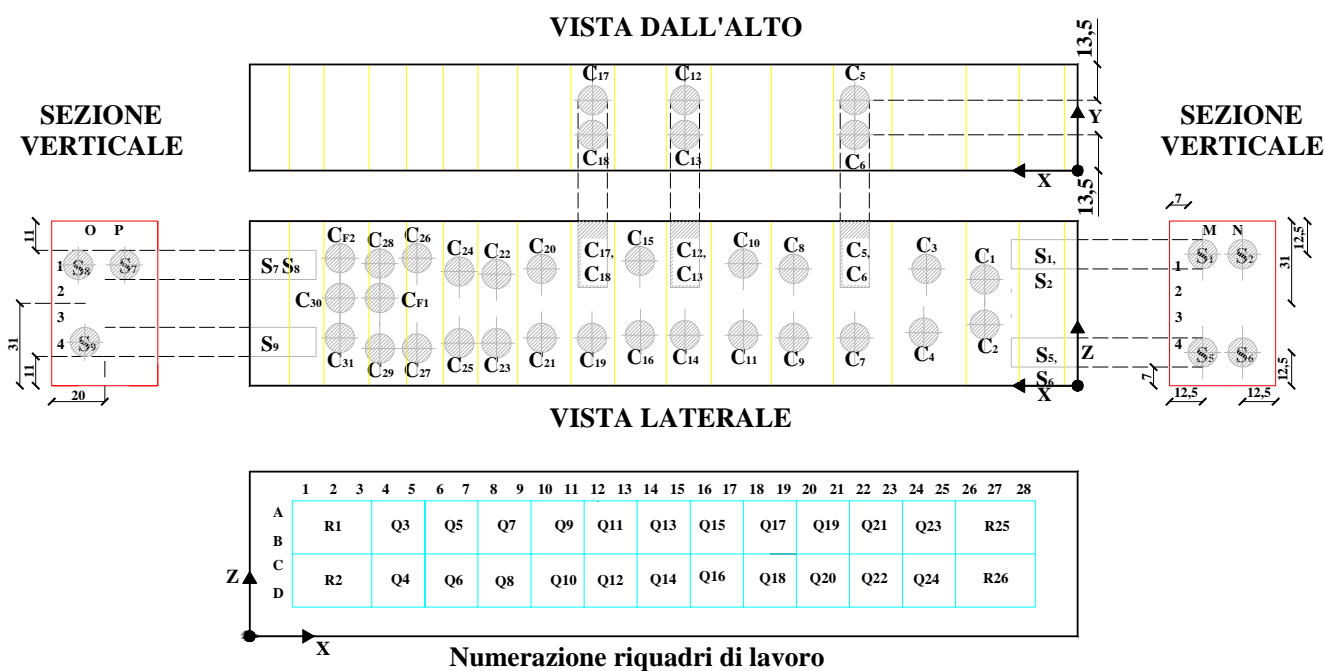


Figura 3. Posizione dei campioni estratti dalla trave T\_A

Infine, sul moncone di pilastro estratto dalla scuola di Aulla sono state eseguite, oltre a quanto già detto per tutti gli altri elementi, ampie indagini di tipo distruttivo finalizzate a individuare l'influenza delle modalità di prova non distruttive sulla resistenza del calcestruzzo in situ. Lo svolgimento della campagna di indagini distruttive, ancora in corso, ha portato ad oggi a realizzare sul pilastro estratto dalla scuola di Aulla (P\_A) un elevato numero di eseguita un'ampia campagna di indagini distruttive (figura 4). Sono stati prelevati complessivamente 8 provini quattro dei quali di lunghezza 40cm, quindi passanti da un lato all'altro dell'elemento, sono stati utilizzati per ricavarne due distinte

carote di diversa lunghezza. Altre 4 prelievi sono state eseguiti in direzione parallela al getto del calcestruzzo in fase di esecuzione ovvero direzione parallela all'asse del pilastro. Tale indagine è stata ritenuta utile, grazie alla libertà operativa consentita in una campagna sperimentale condotta in laboratorio, dall'aver notato una forte variabilità dei valori di resistenza lungo l'altezza del pilastro. Al contrario i valori registrati sulla sezione di testa del pilastro sono pressoché stabili.

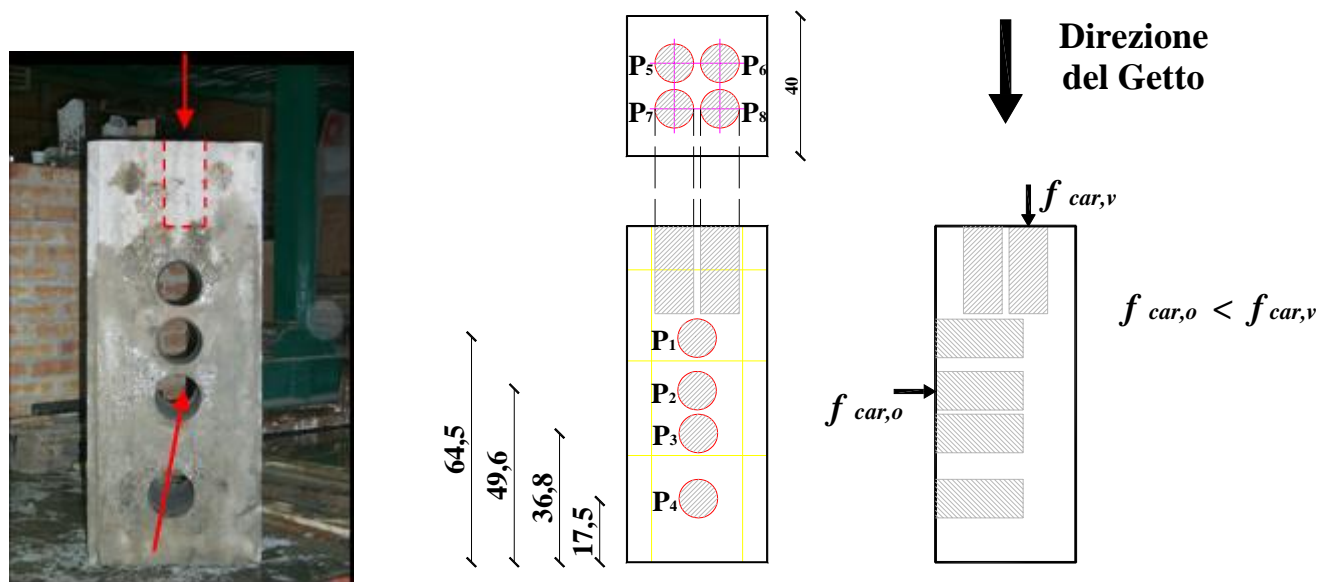


Figura 4. Distribuzione delle campioni estratti dalla trave T\_A

## 4 RISULTATI

Per quanto riguarda le travi, come già descritto in precedenti lavori [Masi et al, 2007], si rileva la presenza di forti differenze nelle caratteristiche del calcestruzzo tra i diversi elementi e spesso anche all'interno dei singoli elementi. Le differenti dispersioni ottenute per le diverse tipologie di indagine confermano quanto già affermato in altri lavori (Masi et al. 2005, Dolce et al. 2006). In particolare, gli andamenti dai risultati delle prove evidenziano una limitata variabilità per l'indice sclerometrico (S) ed, ancor più, per la velocità ultrasonica misurata per trasparenza (V) mentre si è confermata la tendenza ad avere una spiccata variabilità nei valori di velocità ultrasonica superficiale, da ritenere quindi non utilizzabile della valutazione delle caratteristiche di resistenza del calcestruzzo, e, purtroppo, nelle resistenze delle carote estratte. Se una certa dispersione nei risultati delle misure appare fisiologica, in considerazione dell'intrinseca variabilità delle proprietà meccaniche e delle condizioni del materiale nonché per le caratteristiche dei metodi di prova utilizzati, deve però essere notato come la significativa variabilità dei valori di  $f_c$  ottenuti lungo le travi pone degli interrogativi rilevanti in merito alla corretta pianificazione della campagna di indagine ed alla reale rappresentatività dei risultati ottenuti. Nella figura 5 sono riportati i risultati delle indagini, PD e PND, eseguite sulle travi valori medi dei risultati delle prove e i coefficienti di variazione (CV).

Per quanto riguarda i pilastri, la possibilità di condurre indagini estese ed allo stesso livello di dettaglio adottato sulle travi è stata limitata dalle condizioni dello strato superficiale del calcestruzzo, che hanno di fatto impedito la realizzazione delle PND su alcuni pilastri. L'esame dell'andamento delle misure effettuate (sintetizzate in figura 6) sia sui 10 pilastri

P\_F che sul pilastro P\_A ha mostrato valori generalmente poco variabili lungo l'altezza. Inoltre, in quest'ultimo caso le indagini ultrasoniche sono state condotte impiegando differenti metodologie di esecuzione ovvero con il metodo per trasparenza, per trasparenza con lettura d'angolo e per superficie. L'ultimo metodo è fortemente influenzato dallo stato di degrado superficiale e dalla fessurazione, e si rivela ancora una volta inadatto nella stima della resistenza. Complessivamente nei pilastri si evidenzia una forte eterogeneità delle caratteristiche del calcestruzzo ed una qualità inferiore a quella delle travi.

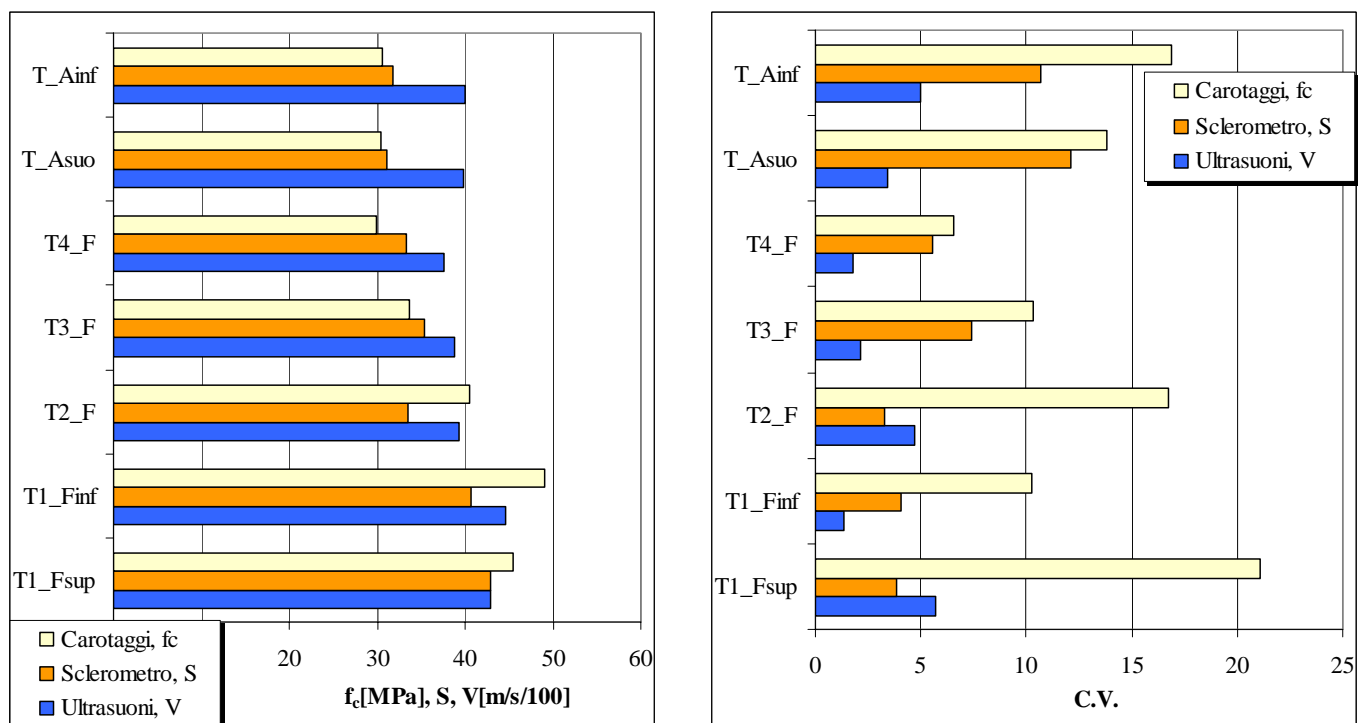


Figura 5. Sintesi delle PD e PND condotte sulla travi

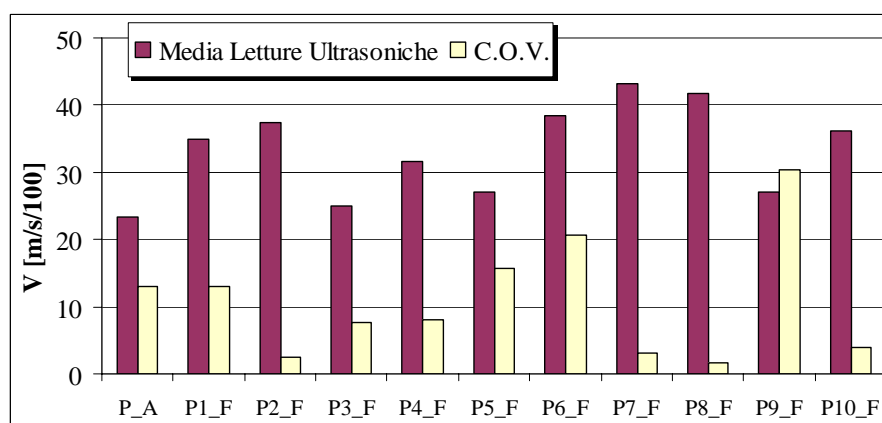


Figura 6. Sintesi delle PND condotte sui pilastri

Nel seguito sono confrontati i risultati delle prove di compressione eseguite su campioni prelevati in differenti direzioni rispetto alla direzione del getto di esecuzione dell'elemento e delle modalità di lavoro in opera dello stesso. Inoltre, grazie alla disponibilità di alcuni campioni di dimensioni differenti da quelle standard in termini di rapporto H/D, viene valutato il ruolo di tale rapporto effettuando dei confronti con il coefficiente di correzione fornito in bibliografia.

Per quanto riguarda la direzione di prelievo sono esaminati i dati relativi a 10 campioni estratti in direzioni verticale sia dal pilastro P\_A (4 provini, tabella 1) che dalla trave T\_A (6 provini tabella 2).

Per quanto riguarda il pilastro, tenuto conto della variabilità delle caratteristiche lungo l'altezza, i risultati ottenuti sulle carote prelevate in direzione verticale sono stati confrontati con la resistenza della carota prelevata in direzione orizzontale più prossima, ovvero con la carota P1 (figura 4). I risultati mostrano una sostanziale assenza di effetti della direzione di getto del calcestruzzo sul valore della resistenza in situ, contrariamente a quanto riportato in bibliografia (ad es. ACI 2003) in merito al cosiddetto effetto bleeding ovvero la riduzione di resistenza  $f_c$  in direzione ortogonale al getto, rispetto a quella parallela al getto, a causa di piccoli vuoti che restano al disotto di inerti irregolari. Come conseguenza le carote estratte con asse parallelo al getto (figura 4) mostrano resistenze maggiori di quelle con asse ortogonale al getto poiché i vuoti sono paralleli alla direzione di carico della prova di compressione e dunque alle linee di frattura. Infatti, il valor medio per le carote prelevate in direzione verticale, pari a 8.69 MPa, è pressoché coincidente con la resistenza della carota P1, pari a 8.97 MPa.

La trave T\_A ha fornito risultati del tutto analoghi al pilastro ovvero le differenze tra le resistenze dei campioni prelevati in direzione verticale e quelli in direzione orizzontale, confrontando campioni collocati in adiacenza e con dimensioni analoghe (C12, C13 e C17) (figura 3), evidenziano una resistenza maggiore di questi ultimi. Deve essere segnalato che, nel caso dei campioni C5 e C6 le differenze tanto elevate sembrano imputabili a fenomeni di rimaneggiamento in fase di estrazione.

Direzione orizzontale				
ID car	Riquadro	D [mm]	h [mm]	$f_{car,o}$ [MPa]
P1	A	100	200	<b>8.97</b>
P2	B	100	200	6.30
P3	B	100	162	6.68
P4	C	100	200	3.59

Direzione verticale				
ID car	Riquadro	D [mm]	h [mm]	$f_{car,v}$ [MPa]
P5	Sez. Orizz.	100	153	8.06
P6	Sez. Orizz.	100	142	8.67
P7	Sez. Orizz.	100	162	8.90
P8	Sez. Orizz.	100	162	9.13
<b>Valore medio</b>				<b>8.69</b>

Tabella 1. Confronto tra i risultati dei carotaggi in direzione orizzontale ed in direzione verticale per il pilastro P\_A

Direzione orizzontale					
ID car	Riquadro	D [mm]	h [mm]	$f_{car,o}$ [MPa]	Media [MPa]
C3	Q3	100	200	19.78	<b>26.72</b>
C8	Q7	100	200	33.65	
C10	Q9	100	200	24.67	<b>22.45</b>
C15	Q13	100	200	23.79	
C20	Q17	100	198	18.90	

Direzione verticale					
ID car	Riquadro	D [mm]	h [mm]	$f_{car,v}$ [MPa]	Media [MPa]
C5	Q3-Q7	100	100	14.36	<b>13.85</b>
C6		100	100	13.33	
C12	Q9 - Q13 - Q17	100	170	18.37	<b>20.14</b>
C13		100	200	26.43	
C17		100	190	20.62	

Tabella 2. Confronto tra i risultati dei carotaggi in direzione orizzontale ed in direzione verticale per la trave T\_A

Infine, è stata valutata l'influenza delle rapporto h/D sui valori di resistenza dei campioni estratti. A partire dai valori dei risultati delle prove di compressione sulle carote estratte la determinazione della resistenza del calcestruzzo in situ è generalmente fatta utilizzando espressione come quella proposta in [Masi, 2005]:

$$f_{c,insitu} = f_{c,car} \cdot (C_{h/D} \cdot C_{dia} \cdot C_a \cdot C_d) \quad (1)$$

in cui si portano in conto una serie di parametri che possono influenzare la resistenza del campione estratto. In particolare, il coefficiente di forma, correttivo rispetto ad un rapporto  $h/D$  non standard, ovvero diverso da 2, è definito come:

$$C_{h/D} = \frac{2}{(1,5 + D/h)} \quad (2)$$

Ponendo pari a 1 tutti gli altri coefficienti correttivi nell'espressione (1), il coefficiente  $C_{h/D}$  è pari proprio al rapporto tra le resistenze dei campioni standard e le resistenze dei campioni con rapporto  $h/D$  non standard. Nel grafico della figura 7 sono confrontati i valori  $f_{c,carST}/f_{c,carNST}$  ottenuti dalla sperimentazione in laboratorio con i valori ottenuti con l'espressione (2). Il grafico mostra che non sempre dei rapporti  $h/D$  inferiori a 2 determinano un incremento della resistenza del provino, dunque un valore del coefficiente di forma minore di 1 come si otterrebbe applicando l'espressione (2). Inoltre, l'andamento dei valori sperimentali del rapporto  $f_{c,carST}/f_{c,carNST}$  appare privo di correlazione con il rapporto  $h/D$ . Tale risultato, chiaramente non convincente sul piano fisico rispetto alle modalità di esecuzione delle prove di compressione (effetto di confinamento dei piatti della pressa), è spiegabile con il numero limitato di provini esaminati e con la naturale disomogeneità dei conglomerati cementizi di scarsa qualità tipici degli edifici esistenti.

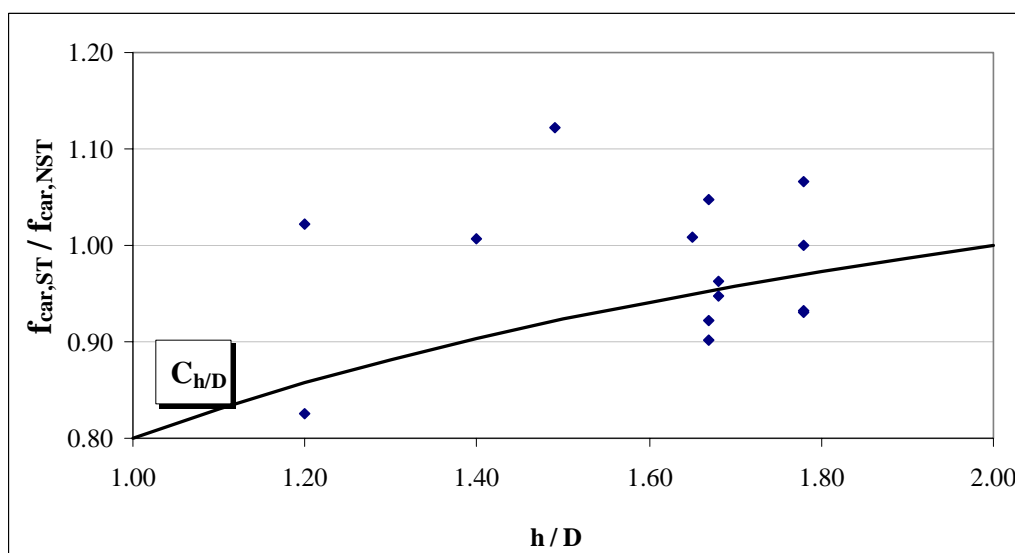


Figura 7. Andamento del rapporto  $f_{c,carST}/f_{c,carNST}$  (resistenze dei campioni STandard e Non STandard) in funzione del rapporto  $h / D$

I risultati ottenuti in merito all'influenza della direzione di prelievo dei campioni e del rapporto  $h/D$  non forniscono indicazioni affidabili per una serie di motivazioni, ed in particolare in virtù del limitato numero di provini presi in esame. Per tale ragione non è possibile proporre alcuna modifica o integrazione all'espressione (1) che consente la stima della resistenza in situ del calcestruzzo. Attesa la grande importanza di una affidabile



previsione della qualità del calcestruzzo nella valutazione della sicurezza, appare necessario indagare ulteriormente sull'argomento, ampliando le sperimentazioni su provini reali estratti da edifici esistenti in c.a..

## **RINGRAZIAMENTI**

Il presente lavoro è stato svolto nell'ambito del progetto DPC-ReLUIS 2005-2008, Linea di ricerca n. 2 "Valutazione e riduzione della vulnerabilità di edifici esistenti in c.a. (Task Metodi Non Distruttivi)".

## **BIBLIOGRAFIA**

- American Concrete Institute (ACI). 2003. *Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results*, ACI 214.4R-03, Detroit, September 2003.
- CEN, 2004. *Eurocode 8 - Design of structures for earthquake resistance - Part 3: Assessment and retrofitting of buildings (draft n. 6)*, prEN 1998-3, Brussels.
- Dolce M., Masi A., Ferrini M., 2006. *Estimation of the actual in-place concrete strength in assessing existing RC structures*, The Second International fib Congress, June 5-8, 2006, Naples, Italy
- Masi A., 2005. *La stima della resistenza del calcestruzzo in situ mediante prove distruttive e non distruttive*, Il Giornale delle Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica, n. 1, 2005.
- Masi A., Dolce M., Chiauzzi L., Nigro D., Ferrini M., 2005, *Indagini sperimentali sulla variabilità della resistenza del calcestruzzo negli elementi strutturali di edifici esistenti in c.a.*, Atti del 11° Convegno Nazionale dell'AIPnD, Milano, 13-15 ottobre 2005.
- Masi A., Dolce M., Vona M., Nigro D., Pace G., Ferrini M., 2007. *Indagini sperimentali su elementi strutturali estratti da una scuola esistente in c.a.*, Atti del XII Convegno Nazionale L'Ingegneria Sismica in Italia, giugno 2007, Pisa.
- Ordinanza Presidente Consiglio dei Ministri N. 3274 del 20 marzo 2003. *Allegato 2 - Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento degli edifici*.
- UNI EN, 2001. UNI EN 12504 – 2, *Prove sul calcestruzzo nelle strutture – Prove non distruttive – Determinazione indice sclerometrico*, dicembre 2001.
- UNI EN, 2002. UNI EN 12504 – 1, *Prove sul calcestruzzo nelle strutture – Carote – Prelievo, esame e prove di compressione*, aprile 2002.
- UNI EN, 2005. UNI EN 12504 – 4, *Prove sul calcestruzzo nelle strutture – Parte 4: Determinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici*, gennaio 2005.