

CAPITOLO 6

LA CAMPAGNA DI INDAGINE

6.1 IL PROCESSO DIAGNOSTICO¹

L'indagine diagnostica, finalizzata alla valutazione e definizione di un Livello di Conoscenza Adeguata LC2² dell'edificio, è stata condotta attraverso la programmazione di una dettagliata e complessa campagna di indagine contenente il numero e la tipologia di prove da eseguire e la localizzazione dei punti e delle aree da esaminare.

Appare necessario in questa fase, prima di indirizzare la trattazione alla descrizione della specifica campagna d'indagine realizzata, procedere

¹ Cfr. A. Masi, "La stima della resistenza del calcestruzzo in situ mediante prove distruttive e non distruttive" in Il Giornale delle Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica 1/2005

Cfr. R. Giacchetti, S. Bufarini, V. D'Aria, "Il controllo strutturale degli edifici in cemento armato e muratura", EPC Libri, Roma, 2005

Cfr. Circolare 2 febbraio 2009 n°617 Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008

² "LC2: Conoscenza adeguata

Geometria: la geometria della struttura è nota o in base a un rilievo o dai disegni originali. In quest'ultimo caso viene effettuato un rilievo visivo a campione per verificare l'effettiva corrispondenza del costruito ai disegni. I dati raccolti sulle dimensioni degli elementi strutturali, insieme a quelli riguardanti i dettagli strutturali, saranno tali da consentire la messa a punto di un modello strutturale idoneo ad un'analisi lineare o non lineare.

Dettagli costruttivi: i dettagli sono noti da un'estesa verifica in-situ oppure parzialmente noti dai disegni costruttivi originali incompleti. In quest'ultimo caso viene effettuata una limitata verifica in-situ delle armature e dei collegamenti presenti negli elementi più importanti. I dati raccolti saranno tali da consentire, nel caso si esegua un'analisi lineare, verifiche locali di resistenza, oppure la messa a punto di un modello strutturale non lineare.

Proprietà dei materiali: informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali sono disponibili in base ai disegni costruttivi o ai certificati originali di prova, o da estese verifiche in-situ. Nel primo caso sono anche eseguite limitate prove in-situ; se i valori ottenuti dalle prove in-situ sono minori di quelli disponibili dai disegni o dai certificati originali, sono eseguite estese prove in-situ. I dati raccolti saranno tali da consentire, nel caso si esegua un'analisi lineare, verifiche locali di resistenza, oppure la messa a punto di un modello strutturale non lineare.

La valutazione della sicurezza nel caso di conoscenza adeguata è eseguita mediante metodi di analisi lineare o non lineare, statici o dinamici."

C8A.1.B.3 Circolare 2 febbraio 2009 n°617 Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008

con la definizione di brevi cenni ed osservazioni preliminari sulle diverse tipologie e modalità d'esecuzione delle prove.

Le prove da eseguire in situ possono essere di tipo distruttivo (D), che implicano asportazione localizzata di materiale e di tipo non distruttivo (PnD), senza asportazione di materiale.

Le prove distruttive (D) consistono nel prelievo in situ di campioni cilindrici di calcestruzzo, tecnica nota come carotaggio e di pezzi di armatura da elementi in c.a.; mentre le prove non distruttive (PnD) consentono di individuare la disposizione delle barre di armatura negli elementi in c.a., attraverso le indagini pacometriche, e di verificare l'omogeneità del calcestruzzo, con le prove ultrasoniche e sclerometriche.

I risultati delle prove sclerometriche ed ultrasoniche sono utilizzati in maniera combinata, per stimare la resistenza del calcestruzzo attraverso il metodo SonReb.

La pianificazione delle indagini strumentali, l'impostazione della campagna sperimentale e l'esecuzione delle prove con l'elaborazione dei dati, rappresentano una fase fondamentale nella valutazione della sicurezza di un edificio, volta a definire il comportamento dello stesso in relazione alle combinazioni sismiche di progetto.

La pianificazione delle indagini è un processo interattivo, poiché, le ipotesi di lavoro su cui la campagna sperimentale si basa, vanno continuamente aggiornate e modificate in relazione alle informazioni che possono essere acquisite durante il lavoro.

La fase preliminare della procedura di indagine ha lo scopo di verificare l'esistenza di patologie e di descriverne, dunque, la natura con un'iniziale valutazione delle prestazioni e della sicurezza della struttura. In tale fase risulta fondamentale riconoscere eventuali situazioni di crisi, avvalendosi, inoltre, di informazioni sulla storia dell'edificio, che consente di conoscere le tecniche costruttive adoperate, i materiali, e le normative specifiche in vigore all'epoca di costruzione.

Definite e stabilite le tipologie di prove da eseguire, la fase successiva, estremamente complessa ed articolata, è il piano di campionamento; l'aspetto maggiormente difficoltoso è dovuto alla necessità di definire i punti da esaminare, di dimensioni finite e puntuali, le cui caratteristiche siano rappresentative dell'eterogeneità della struttura.

Il piano di campionamento deve essere sviluppato in modo da riflettere perfettamente le caratteristiche di variabilità della struttura, in tal modo ogni campione risulta rappresentativo dell'unità di materiale da cui proviene.

I differenti tipi di prove possono essere eseguiti in una sequenza temporale pianificata a livello di affidabilità e costo crescente, in modo che la precedente prova sia la base di riferimento del campionamento della successiva indagine, più costosa e al contempo anche più affidabile dal punto di vista dei risultati forniti e, pertanto, da effettuare in modo mirato.

Sulla base di tali considerazioni di carattere generale, appare opportuno effettuare inizialmente le indagini ultrasoniche e

sclerometriche, e sulla base dei risultati ottenuti, definire la campagna dei carotaggi.

La scelta delle metodologie di indagine da adottare, inoltre, fa riferimento ad una serie di parametri, tra cui costi, tempi, danni ed affidabilità, che consentono di acquisire informazioni qualitativamente identiche. Tuttavia è indispensabile stimare i vantaggi e gli svantaggi di tali metodi di indagine, che consentono di effettuare una scelta ed un'interpretazione più corrette ed appropriate.

I differenti metodi d'indagine, con relativi vantaggi e svantaggi, sono sintetizzati nella Tabella 1 in cui sono riportate le caratteristiche principali dei metodi più diffusi per la determinazione della resistenza a compressione del calcestruzzo.

Metodo di prova	Costo	Rapidità di esecuzione	Danno alla struttura	Rappresentatività dei dati ottenuti	Affidabilità
Carotaggio	Alto	Bassa	Moderato	Moderata	Ottima
Indice di Rimbalzo	Minimo	Alta	Nulla	Superficiale	Debole
Velocità di propagazione di Ultrasuoni	Basso	Alta	Nulla	Buona	Moderata
Prova Pacometrica	Basso	Alta	Nulla	Moderata	-

Tabella 1: Metodi di indagine: vantaggi e svantaggi

Per le prove non distruttive, in cui la misura della resistenza a compressione del calcestruzzo è indiretta, è necessario eseguire un'operazione di calibrazione, che permette di collegare il risultato della misura alle caratteristiche dell'oggetto di indagine.

La calibrazione è molto complessa per i metodi di indagine non distruttivi e poco costosi; le prove ultrasoniche e sclerometriche, infatti, non producono alcun danno alla struttura, sono economiche e rapide, ottime per valutare l'omogeneità del materiale, ma la loro calibrazione, per stimare la resistenza del calcestruzzo, pone diversi problemi.

Al contrario, il carotaggio consente una migliore stima della resistenza della struttura, ma causa danni maggiori, ed è molto più costoso. Questa prova, però, è essenziale per effettuare la calibrazione delle misure ottenute con le metodologie non distruttive.

Eseguite prove e campionamento, i risultati sperimentali ottenuti, vanno interpretati ed utilizzati nel modello teorico, analitico o numerico, formulato, con il quale si vuol descrivere mediante caratteristiche fisiche, deformative, meccaniche e vincolari, il comportamento strutturale dell'edificio e, dunque, la sua resistenza.

6.2 INDAGINI NON DISTRUTTIVE

Le indagini non distruttive sono a bassa invasività, poiché, non prevedono esportazione di materiale, ma forniscono importanti informazioni sulle caratteristiche del mezzo indagato e, pertanto, rappresentano un valido strumento per la conoscenza globale dell'edificio oggetto di studio. Per l'esecuzione delle indagini non distruttive, le aree e le superfici di prova sono state predisposte e selezionate facendo riferimento alle specifiche norme UNI.

Infatti, le superfici di prova devono essere prive, sia di difetti che possano inficiare il risultato e la significatività delle prove stesse, sia di polvere ed impurità. E', dunque, necessario eliminare l'intonaco, utilizzando un mezzo meccanico, e rimuovere eventuali residui di malta presenti sulle superfici di calcestruzzo mediante l'uso di una spazzola d'acciaio e di una pietra abrasiva al carburo di silicio con tessitura granulare media.

6.2.1 Scansioni pacometriche e sondaggi sulle armature³

Le scansioni pacometriche, eseguite secondo le modalità della BS 188:204, sono indagini sub-superficiali che permettono di eseguire una mappatura delle armature, longitudinali e trasversali, all'interno dell'elemento indagato, quali travi, pilastri e solai.

Lo strumento utilizzato, detto pacometro⁴, viene fatto scorrere sulla superficie dell'elemento, emettendo un segnale acustico quando nella zona sottostante è presente l'acciaio di armatura.

³ Cfr. L. Zevi, *"Il manuale del Restauro Architettonico"*, Mancosu Editore, Roma, 2001

Cfr. R. Giacchetti, S. Bufarini, V. D'Aria, *"Il controllo strutturale degli edifici in cemento armato e muratura"*, EPC Libri, Roma, 2005

⁴ "Il pacometro è uno strumento usato nelle indagini relative al degrado delle strutture in calcestruzzo armato. È basato sulla produzione di un campo magnetico a impulsi in prossimità del punto da indagare sulla superficie esterna del calcestruzzo; un segnale di ritorno perviene allo strumento se nel calcestruzzo esiste una barra d'armatura d'acciaio; l'intensità del segnale è direttamente proporzionale alla dimensione della barra e inversamente proporzionale alla distanza della barra stessa dalla superficie del calcestruzzo (copriferro). Appoggiando lo strumento su un punto della superficie esterna del calcestruzzo è quindi possibile accertare se all'interno esiste una barra d'acciaio e, nel caso positivo, avere la misura del copriferro e del diametro della barra stessa". Treccani Enciclopedia Italiana

Dopo l'individuazione di acciaio di armatura negli elementi indagati, il percorso delle armature stesse viene contrassegnato e tracciato graficamente sulle facce del calcestruzzo.

Tale tipo di prova risulta indispensabile per verificare il passo delle staffe: partendo dalla base del pilastro e dal nodo superiore trave-pilastro, viene indagata una superficie per circa un metro, valutando l'eventuale infittimento



Figura 1: Pacometro

del passo delle armature trasversali.

Il metodo pacometrico si basa sul principio dell'induzione magnetica che, attraverso la perturbazione di un campo magnetico, generato da una sonda che scorre sulla superficie da indagare in modo continuo, consente di individuare gli elementi che hanno diversa permeabilità magnetica rispetto a quella del materiale in cui sono inglobati.

Un altro principio su cui si basa il metodo pacometrico, è quello delle correnti indotte di Foucault, le cui sonde di rilevazione presentano delle bobine percorse da impulsi di corrente.

Al termine di ogni impulso vengono indotte correnti elettriche all'elemento metallico, captate dalla sonda negli intervalli tra i vari impulsi emessi.

La sonda di ricerca dello strumento è direzionale, con la massima sensibilità quando viene posizionata con l'asse maggiore parallelamente alla direzione delle barre e la minima quando si trova

perpendicolarmente ad essa. La sonda va perciò posta parallelamente alle barre da individuare, e deve essere spostata lentamente.

Il metodo pacometrico è di tipo non invasivo, di semplice esecuzione, molto affidabile, consente di fornire informazioni di tipo quantitativo sul numero, sulla profondità nell'elemento di calcestruzzo, e sul diametro delle armature presenti nell'elemento indagato.

Al termine delle prove, successivamente alla rimozione degli strati di copriferro, su alcuni elementi strutturali è possibile eseguire saggi per la misura diretta dei diametri e il riconoscimento della tipologia delle barre di armatura. In tal modo, è possibile giudicare lo stato di conservazione delle armature, la cura dei dettagli costruttivi e l'eventuale presenza di fenomeni di ossidazione in atto e, dunque, l'individuazione delle cause generanti.

6.2.2 La prova sclerometrica⁵

L'utilizzo dello sclerometro è regolato dalla norma UNI EN 12504-2 [UNI 2001].



Figura 2: Sclerometro Schimdt

⁵ Cfr. UNI, 2001, UNI EN 12504-2, "Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Prove non distruttive- Determinazione indice sclerometrico", dicembre 2001

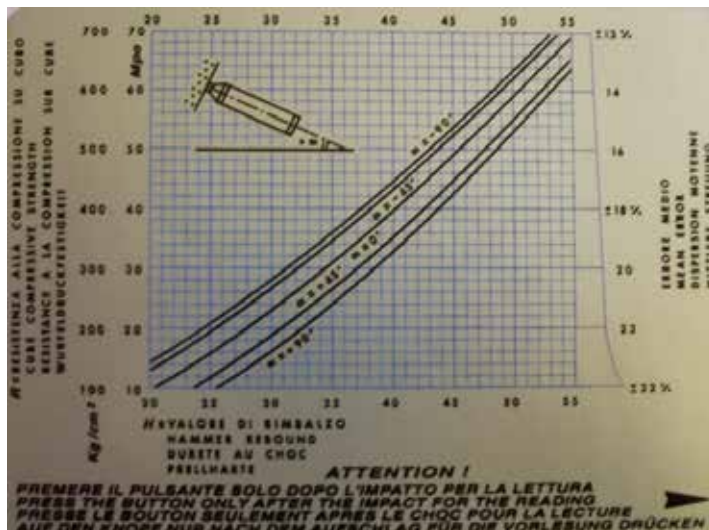
Cfr. L. Zevi, "Il manuale del Restauro Architettonico", Mancosu Editore, Roma, 2001

Cfr. A. Masi, "La stima della resistenza del calcestruzzo in situ mediante prove distruttive e non distruttive" in Il Giornale delle Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica 1/2005

Cfr. R. Giacchetti, S. Bufarini, V. D'Aria, "Il controllo strutturale degli edifici in cemento armato e muratura", EPC Libri, Roma, 2005

Lo sclerometro è costituito da una massa battente di acciaio, caricato a molla, che contrasta un'asta di percussione a contatto della superficie di prova.

Il metodo consiste nel misurare l'altezza di rimbalzo della massa, dopo



che questa è stata proiettata, con una data energia, contro la superficie da indagare.

Attraverso l'utilizzo di curve, in dotazione allo strumento, si determina

la resistenza a compressione del calcestruzzo, proporzionale all'indice di rimbalzo S.

La curva di taratura contiene, inoltre, informazioni su diversi angoli di inclinazione e sui valori degli errori probabili commessi.



Lo sclerometro può essere utilizzato per analizzare l'omogeneità del calcestruzzo in situ, per valutare zone di calcestruzzo degradato o di scarsa qualità e per stimare le variazioni nel tempo delle proprietà del calcestruzzo, ma non può sostituire i metodi distruttivi nella

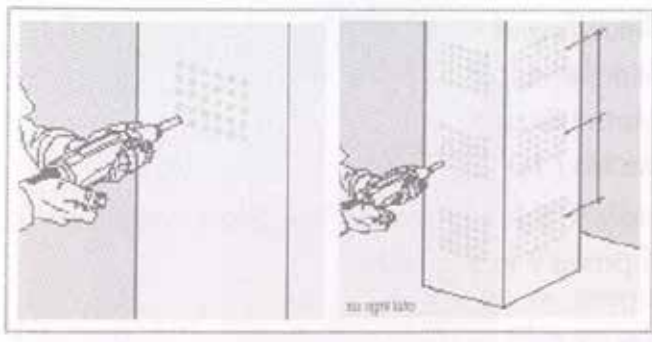
Figura 4: Sezione di uno Sclerometro

determinazione della resistenza del calcestruzzo.

Il risultato è legato alle condizioni del punto in cui la prova viene eseguita, pertanto la norma UNI definisce che vengano effettuate almeno 9 misure non sovrapposte per ogni punto da esaminare, e che quindi l'indice di rimbalzo sia individuato come media dei 9 indici misurati.

Si individuerà, in tal modo, una griglia i cui punti siano posti con un interasse compreso tra 25 e 50 mm e distanti almeno 25 mm dal bordo; le intersezioni delle linee rappresentano i punti di prova.

Gli elementi di calcestruzzo da sottoporre a tale prova devono avere uno



spessore di almeno 100 mm.

Nel definire l'area da sottoporre a prova bisogna considerare il tipo di superficie, la tipologia e la

Figura 5: tracciamento della griglia di prova

resistenza del calcestruzzo, lo stato di umidità della superficie, l'eventuale carbonatazione, e la direzione della prova.

Lo strumento deve essere utilizzato seguendo le istruzioni d'uso del fabbricante, e bisogna azionarlo almeno tre volte prima di iniziare ad effettuare la lettura, per verificare che funzioni correttamente.

Le limitazioni della prova derivano da fattori che influiscono sul risultato, e sull'entità di rimbalzo: la distanza di rimbalzo dipende, infatti, dall'energia cinetica posseduta dalla massa battente prima

dell'impatto e dalla quantità di tale energia che viene assorbita nell'impatto stesso.

I risultati a cui si giunge dipendono dal tipo di calcestruzzo studiato, ed in particolare, i calcestruzzi poco rigidi e resistenti assorbono più energia nell'urto, rispetto a quelli più rigidi e resistenti, fornendo un minore valore dell'indice di rimbalzo.

Poiché è possibile per due calcestruzzi con diversa composizione avere la stessa resistenza ma rigidità differente, si possono ottenere due valori dell'indice di rimbalzo anche a parità di resistenze; al contrario, è possibile per due calcestruzzi con diverse resistenze avere lo stesso indice di rimbalzo, se la rigidità del calcestruzzo meno resistente è maggiore di quella del calcestruzzo più resistente.

La prova coinvolge solo lo strato superficiale di calcestruzzo e, dunque, il risultato ottenuto non può essere considerato rappresentativo del calcestruzzo interno, poiché il fenomeno di carbonatazione, che interessa lo strato superficiale, aumentandone la rigidità, può portare a valori dell'indice di rimbalzo maggiori di quelli rappresentativi del calcestruzzo interno.

6.2.3 La prova ultrasonica⁶

La prova, regolamentata dalla norma UNI EN 12504-4 [UNI, 2005],



Figura 6: Apparecchio per indagine ultrasonica

consiste nel misurare il tempo impiegato da onde soniche, di frequenza tra i 40 e i 120 KHz, ad attraversare un mezzo compreso tra due trasduttori collocati ad una data distanza, ricavandone la velocità di propagazione, e dunque informazioni sull'omogeneità del calcestruzzo.

La velocità di propagazione di un'onda in un continuo omogeneo ed elastico, infatti, dipende dal modulo di Young e dal modulo di Poisson (costanti di elasticità), e dalla densità del materiale.

Il fascio ultrasonico viene rifratto e l'energia acustica viene assorbita, così da avere un'attenuazione dell'intensità acustica nel materiale, tanto maggiore quanto più alta è la frequenza dell'oscillazione acustica. Infatti, in un materiale molto poroso, la presenza di discontinuità comporta una riduzione della velocità di propagazione ed un aumento dell'attenuazione acustica.

⁶ Cfr. AA.VV., "Manuale del calcestruzzo", Hoepli, Milano, 1995

Cfr. UNI, 2005, UNI EN 12504-4, "Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 4: Determinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici", gennaio 2005.

Cfr. A. Masi, "La stima della resistenza del calcestruzzo in situ mediante prove distruttive e non distruttive" in Il Giornale delle Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica 1/2005

Cfr. R. Giacchetti, S. Bufarini, V. D'Aria, "Il controllo strutturale degli edifici in cemento armato e muratura", EPC Libri, Roma, 2005

Il dispositivo utilizzato per la prova, è costituito da un emettitore di impulsi meccanici e da un dispositivo di ricezione.

Le letture possono essere effettuate in diverso modo, in relazione alla posizione relativa dei due trasduttori e, dunque, si parla di lettura ultrasonica per trasparenza o diretta, per semitrasparenza o semidiretta e superficiale o indiretta.

Là dove possibile, è preferibile condurre una prova ultrasonica per trasparenza, cioè con i due trasduttori disposti in contrapposizione su due superfici tra loro parallele; in questo modo è inoltre possibile rilevare la presenza di lesioni interne.

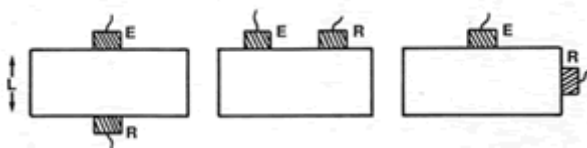


Figura 7: Metodi di lettura ultrasonica, per trasparenza (diretta), per superficie (indiretta), per semitrasparenza (semidiretta)

Come per il metodo sclerometrico, si utilizzano dei diagrammi con curve che correlano la velocità

ultrasonica alla resistenza del conglomerato, ma anche in questo caso l'utilizzazione diretta di tali correlazioni comporta una stima poco affidabile delle resistenze.

Esiste, inoltre, una relazione teorica che lega la velocità di propagazione di onde longitudinali alle caratteristiche elastiche del mezzo ipotizzato

infinito, omogeneo, isotropo ed elastico: $V = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1-\nu)(1-2\nu)}}$, dove E è il

modulo elastico dinamico espresso in MPa, ν è il modulo di Poisson dinamico, ρ è la densità di massa espressa in kg/m^3 , perciò V si ottiene in km/s.

Tuttavia il calcestruzzo non è un mezzo omogeneo, isotropo ed elastico, pertanto, le relazioni che legano la velocità di propagazione alle caratteristiche meccaniche del mezzo devono tener conto delle effettive proprietà fisico-chimiche del materiale, e dei fattori che influenzano la velocità di propagazione.

Si possono distinguere tre diverse tipologie di fattori che influenzano la velocità di propagazione delle onde ultrasoniche negli elementi indagati:

- fattori legati alla composizione del calcestruzzo;
- fattori ambientali;
- fattori legati alle condizioni di prova.

Tra i fattori legati alla composizione del calcestruzzo bisogna considerare:

- il rapporto acqua/cemento, per cui riducendo il rapporto a/c la velocità rimarrà costante, ma la resistenza potrà aumentare anche notevolmente;
- la percentuale di aggregato grosso, per cui la velocità aumenta all'aumentare della percentuale di aggregato grosso;
- la presenza di armature, connessa alla velocità di trasmissione nell'acciaio e che risulta superiore di circa il 40% a quella nel calcestruzzo.

Tra i fattori ambientali si considera:

- il contenuto di umidità, il cui aumento implica un incremento di velocità anche del 5%;

- la maturazione del conglomerato, legato alla velocità che, al contrario della resistenza, è inversamente proporzionale all'età di stagionatura, poiché nel corso del tempo si verificano microfessurazioni che riducono la velocità di propagazione).

Tra i fattori legati alle condizioni di prova, infine, bisogna considerare:

- l'eventuale aumento della pressione sulle sonde che riduce lo spessore del materiale, rendendo netta la deflessione della traccia sull'oscilloscopio, con conseguente riduzione del tempo di trasmissione misurato;
- la lunghezza del percorso di propagazione dell'onda in relazione alla dimensione dell'aggregato e alla lunghezza d'onda, per cui se la prima è piccola rispetto alle seconde, le misure possono risultare assolutamente inaffidabili.

Sulla base di tali considerazioni, dunque, si evidenzia la difficoltà di correlare la velocità ultrasonica con la resistenza, al contempo però, il metodo ultrasonico appare indispensabile ed affidabile per la valutazione dell'omogeneità del conglomerato e per la rilevazione di eventuali fessure.

Dopo aver tarato lo strumento, si procede con individuazione di una zona priva di difetti e di barre di armatura, in cui condurre la misura; la superficie deve essere pulita ed eventualmente levigata. Si posizionano i punti di misura, e si calcola la distanza che, nel caso di trasmissione per trasparenza, dovrà essere riportata con la precisione del $\pm 1\%$,

mentre, per le misure indirette si farà riferimento alla posizione del centro della faccia dei trasduttori.

Il tempo di transito T , necessario affinché l'onda ultrasonica si propaghi nell'elemento indagato, si legge sul visualizzatore con la risoluzione di $1\mu\text{s}$.

Terminate le misure su ogni zona è necessario, poi, eseguire un controllo, verificando i valori medi della velocità di propagazione delle onde elastiche.

tale metodo non invasivo, fornisce informazioni di tipo qualitativo e quantitativo, a seconda del tipo di materiale indagato.

6.2.4 Il metodo SonReb⁷

Il metodo SonReb, da SONic REBound: ultrasonico e sclerometrico, è un metodo di indagine non distruttivo (PnD), regolamentato dalla norma RILEM NDT 4 [RILEM, 1993], che consente di compensare parte degli errori commessi usando singolarmente le due metodologie ultrasoniche

⁷ Cfr. P. Bocca, F. Cianfrone, *“Le prove non distruttive sulle costruzioni: una metodologia combinata”*, L'industria Italiana del Cemento, 6/1983, Roma, 1983

Cfr. RILEM, NDT 4 *“Recommendations for in situ concrete strength determination by combined non-destructive methods”*, Compendium of RILEM Technical Recommendations, E&FN Spon, London, 1993

Cfr. A. Di Leo, G. Pascale, *“Prove non distruttive nelle costruzioni in c.a.”*, Il Giornale delle Prove non Distruttive n°4, 1994

Cfr. A. Masi, *“La stima della resistenza del calcestruzzo in situ mediante prove distruttive e non distruttive”* in Il Giornale delle Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica 1/2005

Cfr. R. Giacchetti, S. Bufarini, V. D'Aria, *“Il controllo strutturale degli edifici in cemento armato e muratura”*, EPC Libri, Roma, 2005

e sclerometriche, per la valutazione della resistenza del calcestruzzo in strutture esistenti⁸.

La diffusione di tale metodo è legata alla velocità di esecuzione e ai costi ridotti, oltre che alla tipologia di indagine poco invasiva sulla struttura, che non va a compromettere la resistenza degli elementi strutturali.

Numerosi, inoltre, sono i vantaggi di questo metodo di analisi, tra cui:

- la semplicità delle tecniche di prova, applicabili a qualsiasi tipo di costruzione;
- l’eliminazione dell’influenza dell’umidità e del grado di maturazione del calcestruzzo sui risultati delle indagini
- la riduzione dell’influenza della granulometria, del tipo di inerte, del tipo di cemento e dell’eventuale additivo presente nel calcestruzzo.

Tuttavia tale metodo non è indicato per calcestruzzi con strati superficiali molto degradati, in zone in cui c’è un’elevata concentrazione di armature ed in punti in cui il calcestruzzo presenta evidenti difetti.

L’applicazione del metodo SonReb richiede la valutazione dei valori locali della velocità ultrasonica V e dell’indice di rimbalzo S , da cui si può ricavare la resistenza del calcestruzzo R_c attraverso l’espressione:

$$R_c = a V^b S^c$$

dove a , b e c dipendono dalle modalità con cui è stata condotta la sperimentazione.

⁸ “È definita costruzione esistente quella che abbia, alla data della redazione della valutazione di sicurezza e/o del progetto di intervento, la struttura completamente realizzata” da “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008

In letteratura vengono fornite numerose diverse espressioni, in base agli studi condotti dai diversi autori:

- 1a) Rilem (1993) NDT 4 $R_{c1} = 9.27 \cdot 10^{-11} \cdot V^{2.6} \cdot S^{1.4}$
- 1b) Gasparik (1992) $R_{c2} = 8.06 \cdot 10^{-8} \cdot V^{1.85} \cdot S^{1.246}$
- 1c) Di Leo, Pascale (1994) $R_{c3} = 1.20 \cdot 10^{-9} \cdot V^{2.446} \cdot S^{1.058}$
- 1d) Del Monte (2004) $R_{c4} = 4.4 \cdot 10^{-7} \cdot V^{1.127} \cdot S^{1.69}$
- 1e) Giacchetti $R_{c5} = 7.685 \cdot 10^{-11} \cdot V^{1.40} \cdot S^{2.60}$

in cui R_c è la resistenza cubica a compressione espressa in N/mm^2 , S è l'indice sclerometrico e V è la velocità ultrasonica espressa in m/s.

La valutazione della resistenza R_c , inoltre, può essere effettuata utilizzando anche dei grafici che contengono una serie di curve di

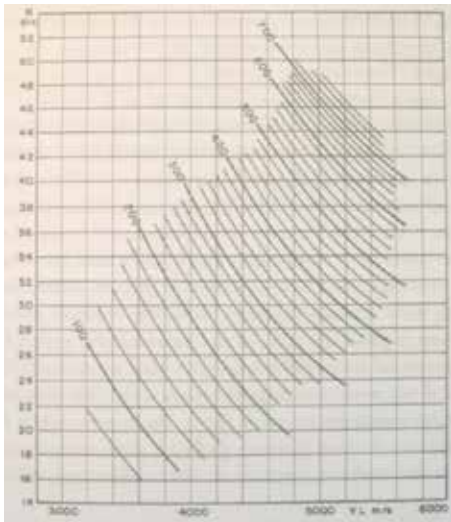


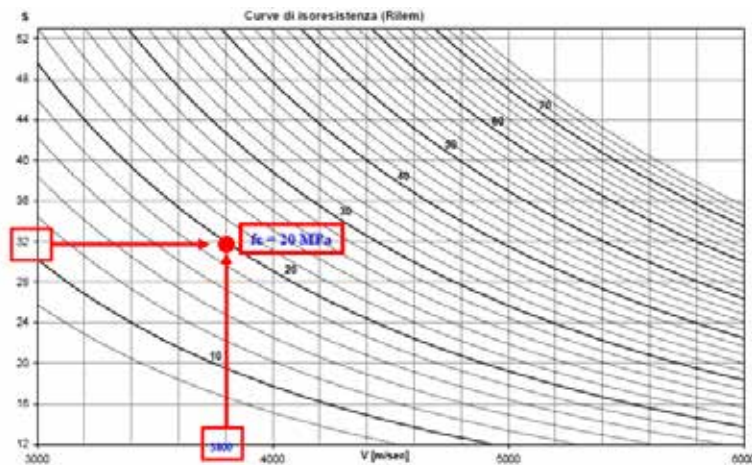
Figura 8: Curve di isoresistenza ricavate da P. Bocca, F.

isoresistenza nel piano V-S ottenute dalle precedenti espressioni e riferite a prove effettuate in laboratorio su campioni standardizzati.

L'uso di questi abachi richiede la valutazione ed il calcolo di V e di S , coppia di valori che permette di leggere sull'abaco la resistenza del calcestruzzo R_c corrispondente.

E' evidente che le suddette espressioni non possono aver validità generale, essendo V ed S dipendenti dalle caratteristiche dei singoli calcestruzzi.

Se il calcestruzzo presenta le stesse caratteristiche di quello utilizzato per ricavare le curve sperimentali, il grafico fornisce la resistenza



stimata del cls, contrariamente, come accade nella maggior parte dei casi, è indispensabile applicare coefficienti correttivi che tengano conto del tipo e del dosaggio del cemento, della natura e della dimensione degli inerti e della presenza di eventuali additivi, per ottenere una stima più corretta ed attendibile della resistenza del conglomerato. E', pertanto, ovvio come le espressioni tratte dalla letteratura dovranno essere applicate con la giusta cautela per la stima della qualità del calcestruzzo dell'edificio oggetto di studio.

6.3 INDAGINI DISTRUTTIVE

Le indagini distruttive consistono nel prelievo in situ di campioni indisturbati di calcestruzzo e di barre di armatura. Per entrambi i materiali lo scopo è quello di valutarne in laboratorio, attraverso delle prove, le caratteristiche meccaniche. In particolar modo, sul calcestruzzo si procede con una prova di schiacciamento a

compressione, mentre per l'acciaio si esegue una prova a trazione semplice.

Nel caso del calcestruzzo, inoltre, il prelievo del materiale e le successive prove di laboratorio sono utilizzate, insieme alle prove non distruttive eseguite nello stesso punto del prelievo, per calibrare le curve sperimentali di iso-resistenza attraverso il metodo SonReb.

6.3.1 Il carotaggio⁹

Attualmente il prelievo di carote da strutture in opera è regolato dalla norma UNI EN 12504-1 [UNI 2002], che stabilisce le modalità di estrazione del materiale, oltre ad indicare il criterio fondamentale, di ridurre al minimo il danneggiamento del campione nel corso delle operazioni.

Il prelievo dei campioni di calcestruzzo viene eseguito mediante l'utilizzo di una carotatrice¹⁰, a rotazione, munita di corona diamantata.



Figura 10: Carotatrice

Si usa, generalmente, una corona che consente il prelievo di carote di un diametro di circa 100 mm, mentre

⁹ Cfr. UNI, 2002, EN 12504-1, "Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Carote - Prelievo, esame e prova di compressione", aprile 2004

Cfr. R. Giacchetti, S. Bufarini, V. D'Aria, "Il controllo strutturale degli edifici in cemento armato e muratura", EPC Libri, Roma, 2005

¹⁰ "Carotatrice attrezzatura in grado di estrarre delle carote dal calcestruzzo indurito di dimensioni definite in 5.4 e con tolleranze definite in 7.3" UNI, 2002, EN 12504-1, "Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Carote - Prelievo, esame e prova di compressione", aprile 2004

nei punti in cui l'armatura è disposta con un interasse minore di 15 cm, si utilizza una corona più piccola, per estrarre campioni di 80 mm di diametro.

Durante le operazioni di estrazione, la carotatrice va ancorata in modo adeguato in modo che non subisca vibrazioni che possano rovinare il campione, che deve avere un diametro costante ad asse rettilineo.

Le dimensioni della carota sono stabilite in relazione al tipo di confronto da eseguire; se deve essere effettuato con resistenza cubica, il rapporto preferenziale lunghezza/diametro deve essere pari a 1:0, mentre nel caso di resistenza cilindrica, il rapporto preferenziale lunghezza/diametro deve essere pari a 2:0).

Le dimensioni della carota prelevata sono, inoltre, strettamente legate all'assortimento degli inerti e, in particolare, il diametro deve essere non minore di tre volte la massima dimensione dell'aggregato, mentre l'altezza pari a due volte il diametro.

Estratta la carota, questa viene marchiata "in modo chiaro ed indelebile"¹¹, e ne viene registrata la posizione di estrazione, per confrontare i dati ottenuti dalle precedenti indagini con quelli che si otterranno dalle prove di laboratorio.

¹¹ UNI, 2002, EN 12504-1, "Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Carote - Prelievo, esame e prova di compressione", aprile 2004, pag 2

La prova di compressione è eseguita “in accordo con il prEN 12390-3:1999 utilizzando una macchina per la prova di compressione conforme al prEN 12390-4:1999”¹².

La resistenza misurata sulle carote è influenzata da diversi fattori che la differenziano da quella che si misurerebbe su un equivalente provino standard.

Tali fattori sono:

- le diverse modalità di preparazione e stagionatura;
- la differente età di stagionatura tra carota e provino standard;
- la posizione del prelievo rispetto all'elemento strutturale;
- l'inevitabile disturbo dovuto al prelievo;
- la dimensione della carota e la presenza di armature incluse.

Se alcuni di questi fattori può essere eliminato, si tende comunque a sottostimare la resistenza rispetto a quella di profili analoghi standard e per tale motivo si fa ricorso a coefficienti correttivi.

Inoltre, le carote possono essere utilizzate anche per valutare il modulo elastico del calcestruzzo, utilizzando durante le prove a compressione dei trasduttori di spostamento, o facendo riferimento all'espressioni fornite dalle normative.

Dopo aver prelevato il campione da indagare in laboratorio è indispensabile ripristinare la struttura con operazioni da eseguire immediatamente dopo l'estrazione del campione, seguendo le istruzioni

¹² UNI, 2002, EN 12504-1, “*Prove sul calcestruzzo nelle strutture – Carote - Prelievo, esame e prova di compressione*”, aprile 2004, pag 3

operative. Esiste, infatti, una procedura raccomandata di ripristino strutturale del calcestruzzo prelevato che si articola in tre fasi principali:

- pulizia del foro con asportazione delle parti incoerenti e aspirazione delle polveri e dei residui causati dall'estrazione;
- inserimento di resina epossidica biocomponente a media viscosità all'interno del foro, per la ripresa monolitica del getto in calcestruzzo;
- a resina non ancora indurita, si posiziona un piccolo cassero a tenuta di contenimento del getto, in corrispondenza del foro di estrazione, per la successiva colatura della malta di ripristino.

6.3.2 Prelievo di campioni di barre di armatura¹³

Questo tipo di prova distruttiva (D) è necessario per la caratterizzazione di tensioni e deformazioni in corrispondenza dello snervamento e della rottura dell'acciaio utilizzato nella struttura. Anche in tal caso, la scelta del punto di prelievo deve essere accurata e al fine di evitare di compromettere la stabilità della struttura, si scelgono elementi che risultano, dal calcolo, meno sollecitati, prestando attenzione ad evitare di estrarre armature d'angolo, oltre alle zone di c.a. tese o fortemente compresse.

¹³ Cfr. UNI, 2004, EN 10002-1, "Materiali metallici - Prova di trazione - parte 1 Metodo di prova a temperatura ambiente", ottobre 2004

La lunghezza l_p del campione di barra da estrarre deve essere, inoltre, adeguata per lo svolgimento della prova a trazione da condurre in laboratorio. La lunghezza l_g della zona di sovrapposizione tra la barra da prelevare e quella di ripristino è funzione del diametro e della resistenza nominale del materiale in opera e del tipo di saldatura di ripristino prevista. Ovviamente, bisogna garantire il completo ripristino della capacità resistente che la barra prelevata aveva prima dell'operazione di taglio.

Prima di estrarre la barra, è necessario rimuovere uno strato di calcestruzzo di spessore $s \geq s_c + 2d$ e lunghezza $l \geq l_p + 2l_g$ dove s_c è lo spessore del copriferro e d è il diametro della barra.

Dietro la barra da prelevare si inserisce la barra di ripristino e si provvede alla saldatura.

Successivamente, si taglia la barra esistente consentendo alla barra di ripristino di assorbire le tensioni precedentemente assorbite dalla barra asportata.

6.4 PROGRAMMAZIONE DELLA CAMPAGNA DI INDAGINE

La pianificazione dell'indagine conoscitiva sullo stato della costruzione comporta decisioni riguardanti i metodi più idonei, la localizzazione ed il numero di prove necessarie per valutare le effettive proprietà del materiale, cercando di individuare le caratteristiche di variabilità della struttura.

La scelta del metodo di indagine da utilizzare dipende dalla possibilità o meno di produrre danni, anche solo di tipo estetico.

Il numero minimo di prove da effettuare è stabilito dalle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” del gennaio 2008, mentre il numero “ottimale” deriva da un compromesso tra precisione richiesta, tempi disponibili, budget, e danni arrecabili.

Oltre alle considerazioni di tipo tecnico, sono stati valutati i punti di facile accessibilità per l'esecuzione delle indagini e campionamento.

Sulla base delle precedenti riflessioni, sono stati individuati 6 punti sufficienti di indagine, in relazione alla geometria ed alla dimensione della struttura, di cui tre a piano superiore (atrio e galleria) e tre al piano inferiore (platea).

L'atrio, che appare con una maglia regolare di pilastri circolari ad interasse costante, ha una superficie di circa 175 m², pertanto, è sufficiente indagare un solo pilastro (P_{a_1}).

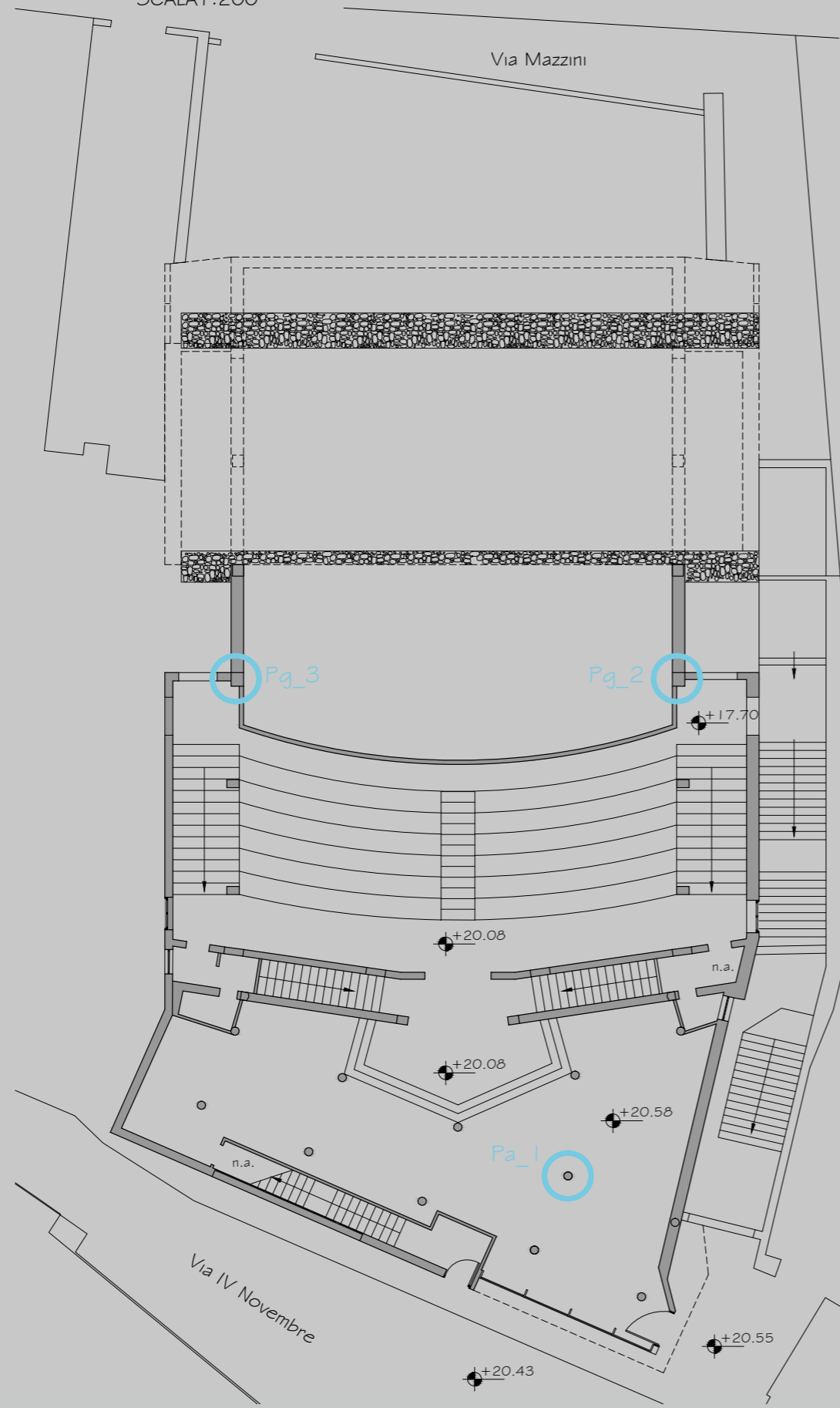
E' stato scelto un pilastro da cui era già stato asportato lo stucco di rivestimento e l'intonaco, in modo da preservare gli altri pilastri con un livello di conservazione migliore, evitando danni estetici alla struttura.

La galleria, di superficie pari a 210 m², ha uno schema planimetrico simmetrico, pertanto, sono stati scelti 2 pilastri simmetrici (P_{g_2}, P_{g_3}) per accertare l'omogeneità della struttura.

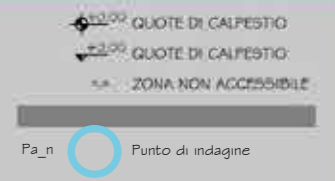
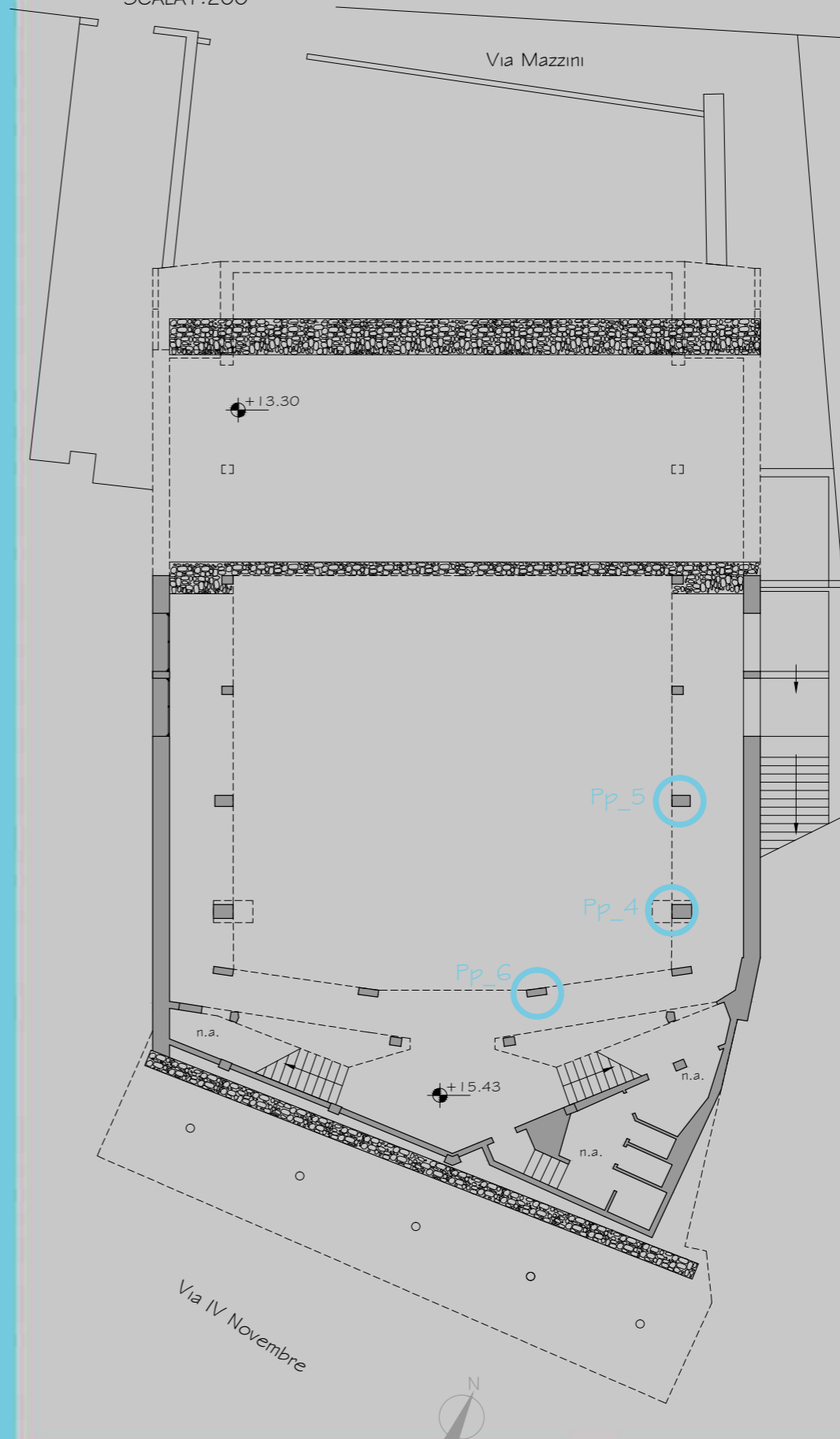
Infine, in platea, di superficie di 330 m², la difficile accessibilità ai pilastri della campata posta a sud-ovest, limitano la scelta a quelli della campata opposta; sono stati selezionati tre pilastri geometricamente

differenti, ed in particolare uno a sezione variabile (P_{p_4}), uno rettangolare con dimensioni confrontabili (P_{p_5}) e l'ultimo con sezione rettangolare, in cui una dimensione è pari circa ad un terzo dell'altra (P_{p_6}). Nel'elaborato grafico che segue è possibile individuare i pilastri selezionati per effettuare le prove.

PIANTA ATRIO E GALLERIA
SCALA 1:200



PIANTA PLATEA
SCALA 1:200



LEGENDA

Prove Distruttive (D):
- carotaggio
- prelievo barre armatura

Prove non Distruttive (PnD):
- scansioni pacometriche
- sclerometriche
- ultrasoniche

Parametri di scelta del tipo di indagine, numero e localizzazione:
- geometria
- dimensioni struttura
- precisione richiesta
- budget
- danni arrecabili
- accessibilità

ATRIO: Pa_1
- battute sclerometriche su faccia A e faccia B
- prove ultrasoniche per trasparenza e superficiali dimensioni struttura

GALLERIA: Pg_2, Pg_3
- battute sclerometriche su faccia C
- prove ultrasoniche per semitrasparenza e superficiali

PLATEA: Pp_4, Pp_5
- battute sclerometriche su faccia A e faccia B
- prove ultrasoniche per trasparenza e superficiali

PLATEA: Pp_6
- battute sclerometriche su faccia B
- prove ultrasoniche per trasparenza e superficiali.

6.5 RISULTATI DELLA CAMPAGNA SPERIMENTALE

Nel presente capitolo sono riportati i risultati di sintesi relativi alle indagini condotte sui pilastri.

Tutte le informazioni acquisite per ogni punto di indagine sono state annotate in apposite schede di rilievo in cui è indicato:

- il codice identificativo del punto di indagine;
- la geometria dell'elemento;
- le dimensioni, la posizione ed eventuali particolarità delle superfici indagate;
- la presenza di fenomeni di ossidazione delle barre e/o di espulsione del copri ferro;
- il tipo, il numero, il diametro e la disposizione delle armature longitudinali e trasversali;
- la tecnica utilizzata e risultato delle prove ultrasoniche;
- il risultato della prova sclerometria.

Figura 11: Scheda di rilievo

Tali risultati sono stati, poi, interpretati al fine di determinare la resistenza del calcestruzzo e le caratteristiche meccaniche e fisiche della struttura; le informazioni ottenute in questa fase risultano, dunque, fondamentali per una conoscenza adeguata dell'edificio, e dunque per la

determinazione di un modello di calcolo che possa sintetizzare il comportamento statico della struttura.

6.5.1 Risultati delle scansioni pacometriche e sondaggi sulle armature

L'esecuzione delle scansioni pacometriche ha permesso di verificare le informazioni disponibili, dedotte dai particolari costruttivi originali, sulla disposizione e la quantità di armatura presente nei pilastri.

Nei casi in cui, invece, tali informazioni non erano presenti, le verifiche in situ sono state eseguite in modo più approfondito per consentire, successivamente, la redazione del progetto simulato, che serve, in mancanza dei disegni

costruttivi originali, a definire la disposizione dell'armatura in tutti gli elementi con funzione strutturale.



Figura 12: Esecuzione delle scansioni pacometriche



Figura 13: tracciamento del percorso delle armature sul calcestruzzo

Il percorso delle armature viene così contrassegnato sulle facce del calcestruzzo.

In alcuni casi, è stato possibile eseguire la misura diretta dei diametri delle barre longitudinali e trasversali; numerosi pilastri, infatti, soprattutto in platea, presentano visibili fenomeni di disgregazione del copriferro.



Figura 14: Particolare pilastri con assenza di copriferro

Tale fenomeno è il prodotto del processo di ossidazione, ormai avanzato, ed ancora in atto, delle barre di armatura che, solo successivamente si è manifestato anche sul calcestruzzo.

In altri casi, invece, l'assenza del copriferro è dovuta alla rimozione dello stesso, per l'esecuzione di misure dirette e indagini sulla disposizione e lo stato dell'armatura negli elementi strutturali.

6.5.2 Risultati della prova sclerometrica

Su ciascun pilastro, identificato con un codice, sono state effettuate dieci misurazioni del valore di rimbalzo, su ogni faccia accessibile, e tali valori, oltre ai valori medi, sono riportati nella seguente tabella.

Elemento strutturale		Battute sclerometriche										Valore medio	Ir
Codice identificativo	Dimensioni [cm]	Valori di rimbalzo											
P _{a_1}	d: 30÷90	36	32	32	35	36	34	32	37	32	38	34.4	34.8
		38	37	36	32	37	38	32	34	32	35	35.1	
P _{g_2}	45 x 50	45	50	53	56	52	46	48	50	50	45	49.5	49.5
P _{p_3}	40 x 50	38	36	38	42	46	40	40	44	36	44	40.4	40.4
P _{g_4}	50÷80 x 70÷140	38	38	42	40	39	40	42	39	38	40	39.6	39.4
		40	38	42	45	38	38	39	38	38	36	39.2	
P _{p_5}	40 x 65	38	40	38	42	39	40	40	42	38	38	39.5	40.8
		42	42	42	45	44	45	44	38	38	40	42.0	
P _{p_6}	70 x 25	38	33	38	37	35	39	37	34	36	35	36.3	36.3

Tabella 2: Risultati della prova sclerometria sui pilastri

I risultati ottenuti mostrano che l'indice di rimbalzo del primo elemento indagato (P_{a_1}) e del secondo (P_{g_2}), si discostano fortemente dal valore ottenuto dalla media degli indici di rimbalzo delle sei prove eseguite.

Nel primo caso, i risultati sono influenzati dalla diversa configurazione geometrica dell'elemento, a sezione circolare, rispetto agli altri, rettangolari, oltre che la diversa tipologia di materiale sul quale si è eseguita la prova; infatti tale pilastro presenta come rivestimento uno stucco a fuoco, che seppur asportato, ha consistenza e caratteristiche diverse da quelle dell'intonaco di cemento presente, sugli altri pilastri.



Figura 2: Esecuzione della prova sclerometrica

6.5.2 Risultati della prova ultrasonica

Dopo aver condotto le prove ultrasoniche su ciascun pilastro sono stati calcolati i valori della velocità media di propagazione dell'onda all'interno del pilastro. Tali valori si ottengono dalla media delle velocità di propagazione ottenute dalle diverse misurazioni, eseguite per trasparenza, semitrasparenza e superficiali, sia in direzione orizzontale che verticale. Nelle seguenti tabelle si riportano le misurazioni eseguite per ciascun pilastro.

P _{a_1}					
punto mis.	tipo (t, st, s)	dir (V, H)	dist [mm]	tempo [μs]	velocità [m/s]
1	s	V	290	184	1576
2	s	V	290	156	1859
3	t	H	360	160	2250
4	t	H	330	155	2129
Velocità media [m/s]			Deviazione Standard	Coeff. di Variazione	
V _m		2190	86	39%	
V _{m,SV}		1718	2000	11.6%	
V _{m,SH}					
V _{m,St}					

Tabella 3: Risultati della prova ultrasonica sul pilastro P_{a_1}

P _{g_2}					
punto mis.	tipo (t, st, s)	dir (V, H)	dist [mm]	tempo [μs]	velocità [m/s]
1	s	H	220	127	1732
2	s	H	110	54	2037
3	s	H	220	123	1788
4	s	H	110	56	1964
5	s	V	220	91	2417
6	s	V	220	79	2785
7	s	V	220	113	1692
8	st	H	180	85	2117
9	st	H	180	83	2168
Velocità media [m/s]			Deviazione Standard	Coeff. di Variazione	
V _m		3382			
V _{m,SV}		2601	260	10.0%	
V _{m,SH}		1881	144	7.6%	
V _{m,St}		2143	36	1.7%	

Tabella 4: Risultati della prova ultrasonica sul pilastro P_{g_2}

Pg_3					
punto mis.	tipo (t, st, s)	dir (V, H)	dist [mm]	tempo [μ s]	velocità [m/s]
1	s	H	220	144	1528
2	s	H	220	102	2157
3	s	V	225	150	1500
4	s	V	225	96	2344
Velocità media [m/s]			Deviazione Standard		Coeff. di Variazione
Vm		2948			
Vm,SV		1922	597		31.0%
Vm,SH		1842	445		24.1%
Vm,St					

Tabella 5: Risultati della prova ultrasonica sul pilastro Pg_3

Pp_4					
punto mis.	tipo (t, st, s)	dir (V, H)	dist [mm]	tempo [μ s]	velocità [m/s]
1	s	H	200	180	1111
2	s	H	220	172	1279
3	t	H	650	183	3552
4	t	H	650	188	3457
Velocità media [m/s]			Deviazione Standard		Coeff. di Variazione
Vm		3505	67		1.9%
Vm,SV					
Vm,SH		1195	119		9.9%
Vm,St					

Tabella 6: Risultati della prova ultrasonica sul pilastro Pp_4

Pp_5					
punto mis.	tipo (t, st, s)	dir (V, H)	dist [mm]	tempo [μ s]	velocità [m/s]
1	s	H	300	240	1250
2	s	H	300	312	961
3	t	H	380	162	2346
4	t	H	380	170	2235
Velocità media [m/s]			Deviazione Standard		Coeff. di Variazione
Vm		2290	78		3.4%
Vm,SV					
Vm,SH		1106	204		18.4%
Vm,St					

Tabella 7: Risultati della prova ultrasonica sul pilastro Pp_5

Pp_6					
punto mis.	tipo (t, st, s)	dir (V, H)	dist [mm]	tempo [μ s]	velocità [m/s]
1	s	V	300	86	3488
2	s	V	300	136	2206
3	t	H	200	62	3225
4	t	H	200	57	3508
Velocità media [m/s]			Deviazione Standard	Coeff. di Variazione	
Vm			200	5.9%	
Vm,SV			907	31.9%	
Vm,SH					
Vm,St					

Tabella 8: Risultati della prova ultrasonica sul pilastro Pp_6



Figura 3: Esecuzione della prova ultrasonica

Infine, nella seguente tabella si riportano i valori delle velocità medie ottenute per ogni pilastro.

Elemento strutturale		Prova ultrasonica Velocità media [m/s]
Codice identificativo	Dimensioni [cm]	
P _{a_1}	d: 30÷90	2190
P _{g_2}	45 x 50	3382
P _{p_3}	40 x 50	2984
P _{g_4}	50÷80 x 70÷140	3505
P _{p_5}	40 x 65	2290
P _{p_6}	70 x 25	3367

Tabella 9: Risultati complessivi della prova ultrasonica

Confrontando questi risultati con gli studi forniti dalla letteratura, nella maggior parte dei casi risulta che il calcestruzzo in esame è in cattive condizioni, poiché la velocità media è inferiore a 3000 m/s (P_{a_1}, P_{p_3}, P_{g_5}), valore che in letteratura è indicato come soglia minima accettabile.

I risultati ottenuti da ogni singola misurazione sono poi stati analizzati al fine di calcolare la velocità media di propagazione per ogni elemento indagato, e saranno successivamente correlate agli indici di rimbalzo per la valutazione, attraverso il metodo SonReb, della resistenza del calcestruzzo.

6.5.4 Valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo mediante il metodo Son-Reb

Per definire l'espressione SonReb valida per il calcestruzzo in esame è necessario calcolare la resistenza media f_{cm} del calcestruzzo dell'edificio analizzato utilizzando i risultati di prove distruttive e non distruttive effettuate negli stessi punti.

Nota la resistenza cilindrica a compressione delle carote f_c prelevate, l'indice di rimbalzo S e la velocità ultrasonica V , ottenute dalle prove non distruttive, si valutano i coefficienti a , b e c delle curve SonReb che forniscono f_c , effettuando una regressione lineare.

Applicando, così, l'espressione ottenuta è possibile stimare la resistenza anche nei punti in cui sono state effettuate solo le prove non distruttive. Si calcola, poi, la resistenza media f_{cm} effettuando la media tra i valori ottenuti dalle prove distruttive e quelli valutati tramite le curve SonReb. Nel caso in esame, non essendo presenti dati relativi all'estrazione di carote, per ritenere affidabile la stima della resistenza del calcestruzzo, i dati forniti dalle prove non distruttive, ossia l'indice di rimbalzo e la velocità ultrasonica media, sono stati inseriti nelle espressioni presenti in letteratura, utilizzando i coefficienti proposti dai diversi autori.

Per i diversi valori ottenuti, sono stati poi, calcolati il valore minimo, il medio e il massimo.

Codice identificativo	Ir	Vm	Rc [MPa]				
			Rilem	Gasparik	Pascale	DelMonte	Giacchetti
P _{a_1}	34.8	2190	6.45	10.14	7.58	10.60	5.35
P _{g_2}	49.5	3382	37.76	35.21	31.94	32.92	27.19
P _{p_3}	40.4	2948	17.24	21.20	18.41	20.76	14.31
P _{g_4}	39.4	3505	26.11	28.31	27.38	27.04	21.68
P _{p_5}	40.8	2290	9.05	13.43	10.01	13.68	7.51
P _{p_6}	36.3	3367	20.97	23.76	22.76	23.04	17.41

Tabella 10: Risultati stima delle resistenze del calcestruzzo mediante il metodo SonReb

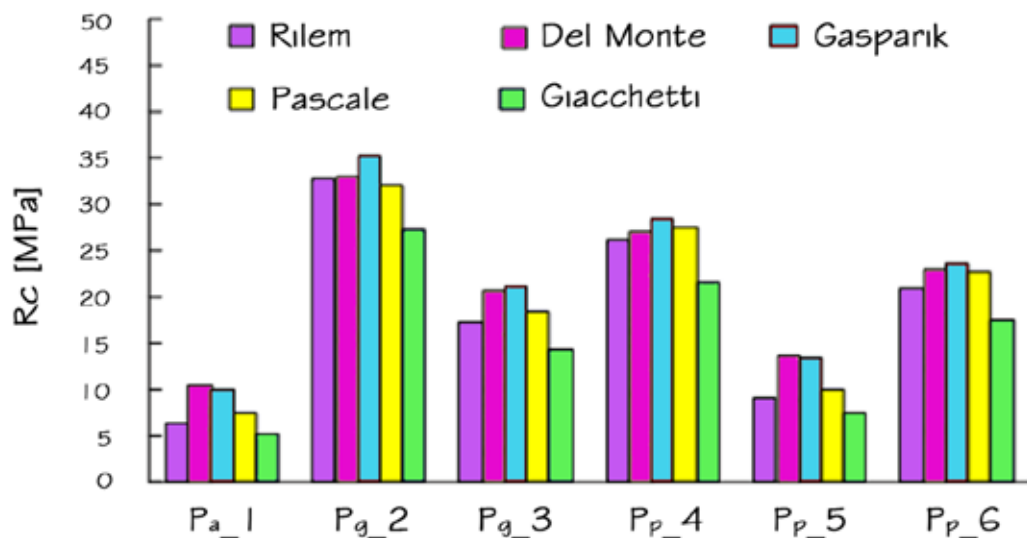


Figura 17: Grafico delle resistenze del calcestruzzo utilizzando le espressioni della letteratura

I risultati ottenuti dimostrano come le diverse espressioni utilizzate nei sei punti di indagine, forniscano valori pressoché confrontabili; tuttavia è evidente che non si può parlare di un'omogeneità del calcestruzzo indagato, poiché nel primo e nel quinto punto di indagine, i risultati della resistenza del calcestruzzo sono inferiori rispetto a quelli degli altri

punti indagati, così come il secondo punto di indagine è caratterizzato da valori maggiori.

Tali differenze, dipendono, ovviamente dai risultati delle prove non distruttive.

Nella seguente tabella, infine, sono riportati il valore della resistenza cilindrica del calcestruzzo minimo, medio e massimo, che rappresentano valori significati per le successive analisi e per la stima della valutazione della vulnerabilità sismica dell'edificio.

f _c [MPa]	
Minimo	12.93
Medio	16.79
Massimo	20.81

Tabella 11: Valori delle resistenze del calcestruzzo

PROVE E SONDAGGI _ non distruttivi

SCHEDA

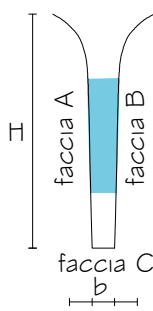
Pa_1

Data della misura: 30-06-2011
Geometria dell'elemento: pilastro circolare

Cantiere: Cinema Ariston, Potenza

Altezza pilastro
H: 310cm

Sezione pilastro
b: 30-90cm



Zona indagata:
faccia A, faccia B

INDAGINE PACOMETRICA E SONDAGGI

sondaggio armatura	SI	NO
presenza di ossidazione	SI	NO
espulsione copriferro	SI	NO
copriferro	3.5 / 4.5cm	
passo staffe (zona indagata)	9cm	
distanza arm. long.	17cm	
diametro staffe	Ø6	

SUPERFICI DI PROVA	tipologia armatura	barre faccia A
priva di difetti superficiali	staffe: lisce	numero: 2
poco deteriorata	longitudinali: lisce	diametro: 16
mediamente deteriorata	barre faccia B	barre faccia C
deteriorata	numero: 2	numero: 2
molto deteriorata	diametro: 16	diametro: 16

PROVE ULTRASONICHE

punto mis.	tipo (t,st,s)	dir(V,H)	dist (mm)	tempo (us)	velocità (m/s)	A (dB)
1	s	V	290	184	1576	
2	s	V	290	156	1859	
3	t	H	360	160	2250	
4	t	H	330	155	2129	
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Velocità Media (m/s)			Dev.St.	C.Var.	Max	Min
Vm	2190		86	39%		
Vm,SV	1718		200	11.6%		
Vm,SH						
Vm,St						

BATTUTE SCLEROMETRICHE

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Media	M. nc.	lr
faccia A	36	32	32	35	36	34	32	37	32	38	34.4	34.4	34.8
faccia B	38	37	36	32	37	38	32	34	32	35	35.1	35.1	
Media			Media	Media ncalcolata			Media ncalcolata		Media	Media ncalcolata			
faccia A	faccia B		faccia A		faccia B		faccia A+B		faccia A+B				
Dev.Stand.	Coef.Var.	Dev.Stand.	Coef.Var.	Dev.Stand.	Coef.Var.	Dev.Stand.	Coef.Var.	Dev.Stand.	Coef.Var.	Dev.Stand.	Coef.Var.	Dev.Stand.	Coef.Var.
2.3	6.7%	2.5	7.0%	2.3	6.7%	2.5	7.0%	2.4	6.8%	2.4	6.8%		

PROVE E SONDAGGI_ non distruttivi

SCHEDA

P_g_2

Data della misura: 30-06-2011

Geometria dell'elemento:

Altezza pilastro

H:330cm

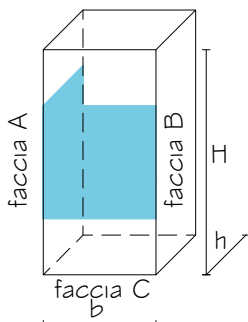
Sezione pilastro

b: 45cm

h: 50cm

Zona indagata:

faccia A, faccia C



Cantiere: Cinema Ariston, Potenza

INDAGINE PACOMETRICA E SONDAGGI

sondaggio armatura	SI	NO
presenza di ossidazione	SI	NO
espulsione copriferro	SI	NO
copriferro	3.5 / 4.5cm	
passo staffe (zona indagata)	9cm	
distanza arm. long.	17cm	
diametro staffe	Ø6	

SUPERFICI DI PROVA		tipologia armatura	barre faccia A
priva di difetti superficiali		staffe: lisce	numero: 2
poco deteriorata		longitudinali: lisce	diametro: 16
mediamente deteriorata		barre faccia B	barre faccia C
deteriorata		numero: 2	numero: 2
molto deteriorata		diametro: 16	diametro: 16

PROVE ULTRASONICHE

punto mis.	tipo (t,st,s)	dir(V,H)	dist (mm)	tempo (µs)	velocità (m/s)	A (dB)
1	s	H	220	127	1732	
2	s	H	110	54	2037	
3	s	H	220	123	1788	
4	s	H	110	56	1964	
5	s	V	220	91	2417	
6	s	V	220	79	2785	
7	s	V	220	113	1692	
8	st	H	180	85	2117	
9	st	H	180	83	2168	
10						
Velocità Media (m/s)	Dev.St.	C.Var.	Max	Min		
Vm	3382					
Vm,SV	2601	260	10.0%			
Vm,SH	1881	144	7.6%			
Vm,St	2143	36	1.7%			

BATTUTE SCLEROMETRICHE

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Media	M. nc.	Ir
faccia C	45	50	53	56	52	46	48	50	50	45	49.5	49.5	49.5
Media		Media	Media	Media ncalolata	Media ncalolata	Media	Media ncalolata						
faccia C	faccia B		faccia C		faccia B		faccia C+B		faccia C+B				
Dev.Stand.	Coef.Var.	Dev.Stand.	Coef.Var.	Dev.Stand.	Coef.Var.	Dev.Stand.	Coef.Var.	Dev.Stand.	Coef.Var.	Dev.Stand.	Coef.Var.		
3.6	7.3%			3.6	7.3%			3.6	7.3%	3.6	7.3%		

Data della misura: 30-06-2011

Cantiere: Cinema Ariston, Potenza

Geometria dell'elemento:

Altezza pilastro

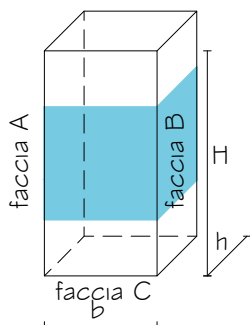
H: 330cm

Sezione pilastro

b: 45cm

h: 50cm

Zona indagata:
faccia B, faccia C



INDAGINE PACOMETRICA E SONDAGGI

sondaggio armatura	SI	NO
presenza di ossidazione	SI	NO
espulsione copriferro	SI	NO
copriferro	3.5 / 4.5cm	
passo staffe (zona indagata)	9cm	
distanza arm. long.	17cm	
diametro staffe	Ø6	

SUPERFICI DI PROVA		tipologia armatura	barre faccia A
priva di difetti superficiali		staffe: lisce	numero: 2
poco deteriorata		longitudinali: lisce	diametro: 16
mediamente deteriorata		barre faccia B	barre faccia C
deteriorata		numero: 2	numero: 2
molto deteriorata		diametro: 16	diametro: 16

PROVE ULTRASONICHE

punto mis.	tipo (t,st,s)	dir(V,H)	dist (mm)	tempo (µs)	velocità (m/s)	A (dB)
1	s	H	220	144	1528	
2	s	H	220	102	2157	
3	s	V	225	150	1500	
4	s	V	225	96	2344	
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Velocità Media (m/s)			Dev.St.	C.Var.	Max	Min
Vm	2948					
Vm,SV	1922		597	31.0%		
Vm,SH	1842		445	24.1%		
Vm,St						

BATTUTE SCLEROMETRICHE

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Media	M. nc.	Ir
faccia C	38	36	38	42	46	40	40	44	36	44	40.4	40.4	40.4
	Media		Media	Media ncalcolata		Media ncalcolata		Media	Media ncalcolata				
	faccia C		faccia B		faccia C		faccia B		faccia C+B		faccia C+B		
	Dev.Stand.	Coef.Var.	Dev.Stand.	Coef.Var.	Dev.Stand.	Coef.Var.	Dev.Stand.	Coef.Var.	Dev.Stand.	Coef.Var.	Dev.Stand.	Coef.Var.	
	1.5	3.8%			1.5	3.8%			1.5	3.8%	1.5	3.8%	

Data della misura: 30-06-2011

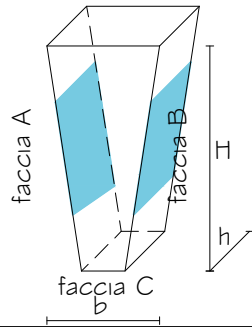
Cantiere: Cinema Ariston, Potenza

Geometria dell'elemento:

Altezza pilastro
H: 300cm

Sezione pilastro
b: 50-80cm
h: 70-140cm

Zona indagata:
faccia A, faccia B



INDAGINE PACOMETRICA E SONDAGGI

sondaggio armatura	SI	NO
presenza di ossidazione	SI	NO
espulsione copriferro	SI	NO
copriferro	3.5 / 4.5cm	
passo staffe (zona indagata)	9cm	
distanza arm. long.	17cm	
diametro staffe	Ø6	

SUPERFICI DI PROVA		tipologia armatura	barre faccia A
priva di difetti superficiali		staffe: lisce	numero: 4
poco deteriorata		longitudinali: lisce	diametro: 30
mediamente deteriorata		barre faccia B	barre faccia C
deteriorata		numero: 4	numero: 4
molto deteriorata		diametro: 30	diametro: 30

PROVE ULTRASONICHE

punto mis.	tipo (t,st,s)	dir(V,H)	dist (mm)	tempo (us)	velocità (m/s)	A (dB)
1	s	H	200	180	1111	
2	s	H	220	172	1279	
3	t	H	650	183	3552	
4	t	H	650	188	3457	
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Velocità Media (m/s)			Dev.St.	C.Var.	Max	Min
Vm	3505		67	1.9%		
Vm,SV						
Vm,SH	1195		119	9.9%		
Vm,St						

BATTUTE SCLEROMETRICHE

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Media	M. nc.	Ir
faccia A	38	38	42	40	39	40	42	39	38	40	39.6	39.6	39.4
faccia B	40	38	42	45	38	38	39	38	38	36	39.2	39.2	
Media			Media	Media ncalcolata			Media ncalcolata			Media	Media ncalcolata		
faccia A	faccia B		faccia A			faccia B		faccia A+B		faccia A+B			
Dev.Stand.	Coef.Var.	Dev.Stand.	Coef.Var.	Dev.Stand.	Coef.Var.	Dev.Stand.	Coef.Var.	Dev.Stand.	Coef.Var.	Dev.Stand.	Coef.Var.	Dev.Stand.	Coef.Var.
1.5	3.8%	2.6	6.6%	1.5	3.8%	2.6	6.6%	2.1	5.2%	2.1	5.2%		

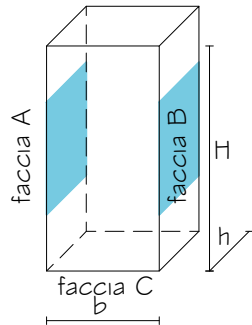
Data della misura: 30-06-2011

Geometria dell'elemento:

Altezza pilastro
H: 300cm

Sezione pilastro
b: 40cm
h: 65cm

Zona indagata:
faccia A, faccia B



Cantiere: Cinema Ariston, Potenza

INDAGINE PACOMETRICA E SONDAGGI

sondaggio armatura	SI	NO
presenza di ossidazione	SI	NO
espulsione copriferro	SI	NO
copriferro	3.5 / 4.5cm	
passo staffe (zona indagata)	9cm	
distanza arm. long.	17cm	
diametro staffe	Ø6	

SUPERFICI DI PROVA		tipologia armatura	barre faccia A
priva di difetti superficiali		staffe: lisce	numero: 2
poco deteriorata		longitudinali: lisce	diametro: 20
mediamente deteriorata		barre faccia B	barre faccia C
deteriorata		numero: 2	numero: 2+2
molto deteriorata		diametro: 20	diametro: 14,20

PROVE ULTRASONICHE

punto mis.	tipo (t,st,s)	dir(V,H)	dist (mm)	tempo (µs)	velocità (m/s)	A (dB)
1	s	H	300	240	1250	
2	s	H	300	312	961	
3	t	H	380	162	2346	
4	t	H	380	170	2235	
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Velocità Media (m/s)			Dev.St.	C.Var.	Max	Min
Vm	2290		78	3.4%		
Vm,SV						
Vm,SH	1106		204	18.4%		
Vm,St						

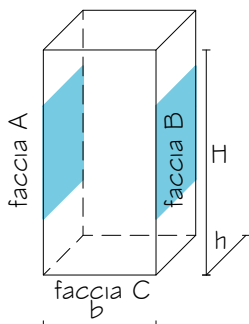
BATTUTE SCLEROMETRICHE

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Media	M. nc.	Ir
faccia A	38	40	38	42	39	40	40	42	38	38	39.5	39.5	40.8
faccia B	42	42	42	45	44	45	44	38	38	40	42.0	42.0	
Media			Media	Media ncalcolata			Media ncalcolata		Media	Media ncalcolata			
faccia A	faccia B		faccia A		faccia B		faccia A+B		faccia A+B				
Dev.Stand.	Coef.Var.	Dev.Stand.	Coef.Var.	Dev.Stand.	Coef.Var.	Dev.Stand.	Coef.Var.	Dev.Stand.	Coef.Var.	Dev.Stand.	Coef.Var.		
1.6	4.0%	2.6	6.2%	1.6	4.0%	2.6	6.2%	2.5	6.1%	2.5	6.1%		

Data della misura: 30-06-2011
 Geometria dell'elemento:

Cantiere: Cinema Ariston, Potenza

Altezza pilastro
 H: 200cm
 Sezione pilastro
 b: 70cm
 h: 25cm



Zona indagata:
 faccia A, faccia B

INDAGINE PACOMETRICA E SONDAGGI

sondaggio armatura	SI	NO
presenza di ossidazione	SI	NO
espulsione copriferro	SI	NO
copriferro	3.5 / 4.5cm	
passo staffe (zona indagata)	9cm	
distanza arm. long.	17cm	
diametro staffe	Ø6	

SUPERFICI DI PROVA		tipologia armatura	barre faccia A
priva di difetti superficiali		staffe: lisce	numero: 2
poco deteriorata		longitudinali: lisce	diametro: 16
mediamente deteriorata		barre faccia B	barre faccia C
deteriorata		numero: 2	numero: 2
molto deteriorata		diametro: 16	diametro: 16

PROVE ULTRASONICHE

punto mis.	tipo (t,st,s)	dir(V,H)	dist (mm)	tempo (µs)	velocità (m/s)	A (dB)
1	s	V	300	86	3488	
2	s	V	300	136	2206	
3	t	H	200	62	3225	
4	t	H	200	57	3508	
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Velocità Media (m/s)	Dev.St.	C.Var.	Max	Min		
Vm	3367	200	5.9%			
Vm,SV	2847	907	31.9%			
Vm,SH						
Vm,St						

BATTUTE SCLEROMETRICHE

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Media	M. nc.	Ir
faccia A													
faccia B	38	34	38	37	35	39	37	34	36	35	36.3	36.3	36.3
Media			Media	Media ncalcolata		Media ncalcolata		Media		Media ncalcolata			
faccia A	faccia B	faccia A	faccia B	faccia A+B	faccia A+B								
Dev.Stand.	Coef.Var.	Dev.Stand.	Coef.Var.	Dev.Stand.	Coef.Var.	Dev.Stand.	Coef.Var.	Dev.Stand.	Coef.Var.	Dev.Stand.	Coef.Var.		
		1.8	4.9%			1.8	4.9%	1.8	4.9%	1.8	4.9%		