

**COMUNE di ALESSANDRIA DELLA ROCCA**

**PROVINCIA di Agrigento**

**INDAGINI SULLE STRUTTURE  
E SUI MATERIALI**

**VERIFICHE DI VULNERABILITÀ SISMICA**

**STRUTTURA "A" e STRUTTURA "B"**

**OGGETTO:**

**PLESSO ADIBITO A SCUOLA PRIMARIA "L. CAPUANA"  
DELL'ISTITUTO COMPRENSIVO "A. MANZONI"**

**Via Portella n°1 - (N.C.T.: Fg.20 p.IIa 463)**

**COMMITTENTE:**

**COMUNE DI ALESSANDRIA DELLA ROCCA**

**IL TECNICO**

**VISTI**



*Il sottoscritto Dott. Ing. Antonino G. PATRINOSTRO nella qualità di progettista incaricato per la verifica della vulnerabilità sismica del plesso C – scuola elementare – dell’Istituto comprensivo A. Manzoni di Alessandria della Rocca, ha predisposto una campagna di indagini al fine di individuare le caratteristiche strutturali dell’edificio nonché quelle dei materiali utilizzati.*

## **1. DESCRIZIONE DELL’EDIFICIO ESISTENTE**

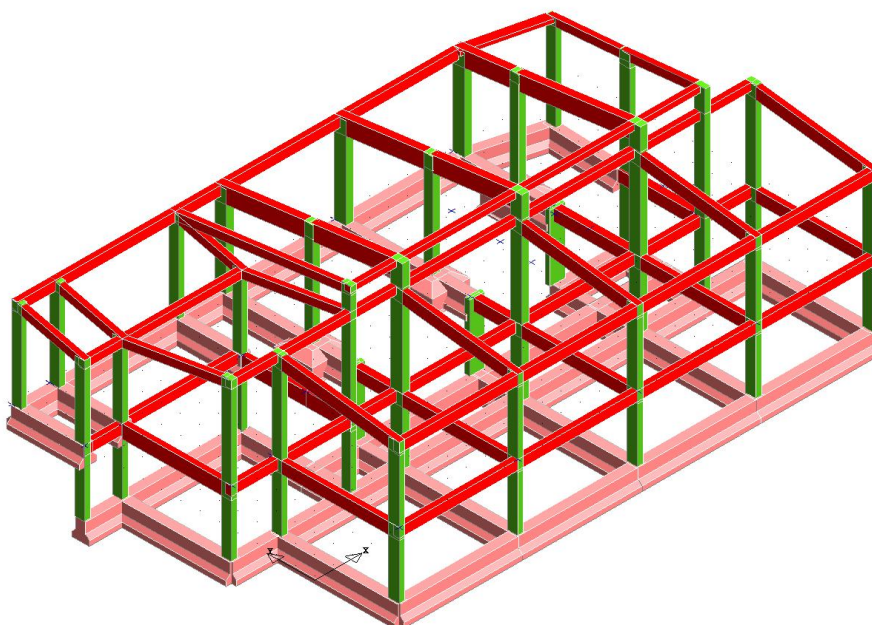
Il plesso scolastico C – scuola elementare – dell’Istituto comprensivo A. Manzoni di Alessandria della Rocca, oggetto della verifica della vulnerabilità sismica, è ubicato in via Portella n.1 ed individuato al N.C.T. col fg.20 - p.lla 463.

Allo stato attuale si compone di due strutture in c.a., che saranno denominate “Struttura A” e “Struttura B”, affiancate lungo un lato.

La “Struttura A” si sviluppa verticalmente su due livelli così composti:

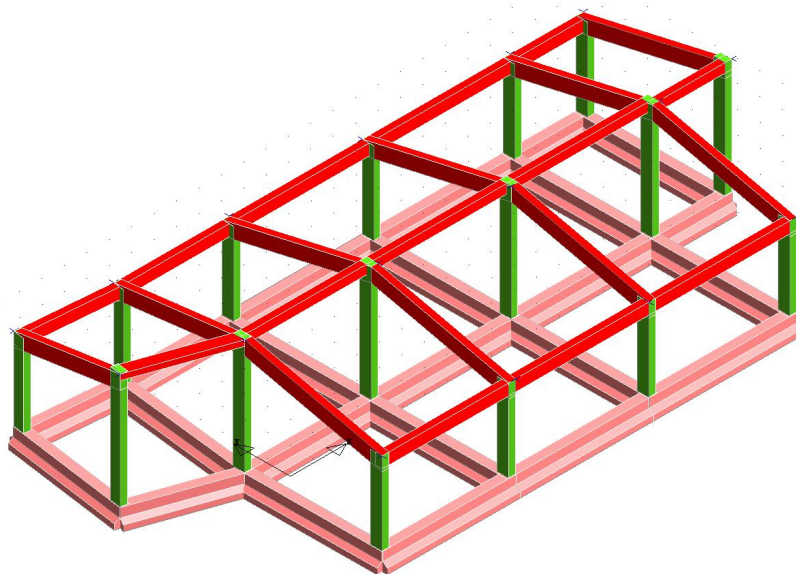
- Piano terra (a valle) con superficie di circa 267 mq ed altezza interna di m 3,20;
- Piano terra (a monte) con superficie di circa 406 mq ed altezza interna variabile da m 4,30 a m.5,50.

Si riporta una vista assonometrica della struttura “A”



La “Struttura B” si sviluppa verticalmente su un solo livello con il piano di imposta coincidente con il piano terra a monte della “Stuttura A”; ha una superficie di circa 280mq ed altezza interna variabile da m 3,40 a m 4,90.

Si riporta una vista assonometrica della struttura "B"



Il plesso scolastico in oggetto ha accessi plurimi da una corte comune e risulta isolato rispetto agli altri edifici limitrofi anch'essi adibiti ad uso scolastico (Palestra, Scuola Media, Locali mensa ... ecc) con ampi spazi o strade interne di servizio all'area scolastica.

Il corpo "A" ha forma irregolare con tre lati prospicienti la corte comune e uno in aderenza con il corpo "B" da cui è separato dal giunto tecnico. La copertura del piano primo (piano terra a monte) è a falde inclinate con soletta in latero-cemento; l'altezza al colmo è di m 6,05 ed alla gronda è di m.4,60 entrambe misurate dal piano di calpestio del piano terra a monte; Il sottostante piano piano terra del corpo "A" (piano terra a valle) è in parte seminterrato con una altezza interna di m 3,20; I due livelli sono collegati verticalmente da una scala interna e da un'ascensore.

Il corpo "B" ha forma irregolare con tre lati prospicienti la corte comune e l'altro in aderenza con il corpo "A" ma separato da un giunto tecnico. La copertura in latero-cemento è a più falde inclinate; in particolare la falda che copre l'ingresso, la bidelleria ed un bagno ha altezza al colmo di m 4,65 ed alla gronda di m.3,80 mentre la copertura della restante parte è costituita da due falde inclinate con soletta in latero-cemento di altezza al colmo di circa 5,25 m ed alla gronda di circa 3,80 m.

L'edificio scolastico in oggetto ricade nella Zona "F1" – Aree ed attrezzature scolastiche esistenti - del vigente Piano Regolatore Generale del comune di Alessandria della Rocca approvato con D. Dir. 152/DRU del 04/03/2008.

Dai rilievi effettuati, dalle indagini eseguite e dalla documentazione acquisita si è accertato che le strutture portanti dell'edificio sono costituite da travi e pilastri in c.a. incastrati in una fondazione superficiale composta da travi a T rovescia; lungo il corridoio del piano terra a valle (Plesso A) sono presenti dei setti in cls che assolvono la funzione di sostegno del retrostante terrapieno; è stato altresì accertato, che nel piano terra a monte del plesso "A", tre pilastri in muratura portante incastrati su plinti di fondazione fanno da appoggio per le travi di copertura delle tre campate centrali.

I rilievi eseguiti hanno consentito di ricostruire lo schema strutturale, le dimensioni delle travi e dei pilastri.

## 2. DESCRIZIONE DELLE CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SITO

L'area in cui ricade l'edificio è ubicata ad una quota di circa 520 metri s.l.m.

Sulla base delle osservazioni dirette del territorio e dei manufatti presenti è stato possibile accertare che l'area in cui sorge il fabbricato non presenta segni di instabilità riferibili a fenomeni gravitativi o dissesti. Ciò risulta anche dalle Carte dei Dissesti e della Pericolosità e Rischio Geomorfologico del PAI, nelle quali per il sito in studio e nelle aree limitrofe, non sono segnalate aree instabili o a rischio di frana.

La caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dei terreni di fondazione è stata ricavata dal rilevamento di superficie, dai dati in possesso del sottoscritto per lavori effettuati nelle vicinanze, comprensive dei saggi e delle prove contenute nello Studio Geologico a corredo della revisione del Piano Regolatore Generale sopra richiamato.

Sono stati rilevati affioramenti del substrato roccioso relativo alle marne argillose in diversi punti del comprensorio, soprattutto in pareti di scavo e sbancamenti, risultando di colore variabile dal bianco latte al giallo pallido, stratificate ed interessate da una accentuata fratturazione mentre gli strati superficiali presentano una accentuata alterazione per spessori di 50÷70 cm.

Considerata la pendenza del pendio, al momento della realizzazione dell'opera si è provveduto a sistemare il piano di posa della fondazione mediante due terrazzamenti per cui risulta una profondità media di oltre m 1,00, e quindi negli strati in posto;

Ad integrazione dei dati di cui sopra è stata effettuata dal geologo Dott. Leonardo Mauceri un'indagine di sismica passiva – HVSR finalizzata alla caratterizzazione sismica dei terreni di fondazione. Le risultanze dell'indagine sismica ha consentito di attribuire la categoria di suolo "B".

In definitiva per il terreno di fondazione si sono assunte le seguenti caratteristiche geotecniche:

$\gamma = 1,9 \text{ t/mc}$ ;

$\varphi' = 30^\circ$ ;

$C' = 0 \text{ t/mc}$ ;

categoria di sottosuolo: B;

categoria topografica: T2.

## 3. RIFERIMENTI NORMATIVI

Le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018 ) emanate con il DM Infrastrutture 17.01.2018 definiscono, al capitolo 8, i criteri generali per la valutazione della sicurezza e per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo degli interventi sulle costruzioni esistenti.

Nel caso in esame le NTC 2018 e relativa circolare esplicativa n. 7/2019 del C.S.LL.PP. stabiliscono gli indici minimi di vulnerabilità sismica che dovranno essere raggiunti in caso di "miglioramento" (riservato agli immobili storici) o di "adeguamento" degli edifici scolastici esistenti, pari rispettivamente ai valori di 0,6 e 0,8.

La O.P.C.M 20 marzo 2003, n. 3274, ha introdotto (art. 2, comma 3) "l'obbligo di procedere a verifica, da effettuarsi a cura dei proprietari" delle opere di particolare rilevanza (scuole, ospedali, ecc.), esentando da tale vincolo "le opere progettate secondo le norme vigenti successivamente al 1984", sempreché la classificazione sismica del territorio sia rimasta quella definita all'epoca della costruzione (Art. 2, comma 5).

Con circolare 4 novembre 2010 n. DPC/SISM/0083283, la Protezione Civile ha fornito chiarimenti sulla gestione degli esiti delle verifiche di vulnerabilità sismica specificando che, per legge, la verifica

è obbligatoria ma non lo è l'intervento e che "la necessità di adeguamento sismico degli edifici e delle opere ..... sarà tenuta in considerazione nella redazione dei piani triennali ed annuali ..... nonché ai fini della predisposizione del piano straordinario di messa in sicurezza antisismica .....". È stato anche chiarito che "il termine adeguamento è usato in senso generico e può comprendere anche le fattispecie del miglioramento e della riparazione locale".

Nelle NTC 2018 (punto 8.4.3) sono definiti gli interventi in presenza dei quali l'adeguamento sismico è obbligatorio:

- a) sopraelevare la costruzione;
- b) ampliare la costruzione mediante opere ad essa strutturalmente connesse e tali da alterarne significativamente la risposta;
- c) apportare variazioni di destinazione d'uso che comportino incrementi dei carichi globali verticali in fondazione superiori al 10%... ;
- d) effettuare interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un sistema strutturale diverso dal precedente, ...;
- e) apportare modifiche di classe d'uso che conducano a costruzioni di classe III ad uso scolastico o di classe IV.”).

In assenza di tali interventi, l'adeguamento sismico non è obbligatorio.

Alla luce della superiore normativa l' "adeguamento" sismico delle strutture che compongono il plesso scolastico deve essere considerato intervento di miglioramento come definito al § 8.4.2 delle NTC2018.

#### **8.4.2 Intervento di miglioramento**

*La valutazione della sicurezza e il progetto di intervento dovranno essere estesi a tutte le parti della struttura potenzialmente interessate da modifiche di comportamento, nonché alla struttura nel suo insieme.*

*Per la combinazione sismica delle azioni, il valore di  $\zeta_E$  può essere minore dell'unità. A meno di specifiche situazioni relative ai beni culturali, per le costruzioni di classe III ad uso scolastico e di classe IV il valore di  $\zeta_E$ , a seguito degli interventi di miglioramento, deve essere comunque non minore di 0,6 , mentre per le rimanenti costruzioni di classe III e per quelle di classe II il valore di  $\zeta_E$ , sempre a seguito degli interventi di miglioramento, deve essere incrementato di un valore comunque non minore di 0,1.....*

#### **C8.4.2 Intervento di miglioramento**

*L'intervento di miglioramento è finalizzato a conseguire un aumento della sicurezza della costruzione. In questa categoria ricadono tutti gli interventi che, pur non rientrando nella categoria dell' adeguamento, possono determinare modifiche, anche significative, del comportamento strutturale locale o globale operando o variazioni di rigidezza, resistenza o capacità deformativa di singoli elementi o di porzioni della struttura, o introducendo nuovi elementi strutturali. Ciò può avvenire, ad esempio, impegnando maggiormente gli elementi più resistenti, riducendo le irregolarità in pianta e in elevazione, eliminando i meccanismi di collasso locali o trasformandoli da fragili in duttili.*

*L'intervento di miglioramento può essere effettuato nei confronti anche soltanto di alcune categorie di azioni quali, indicativamente ma non esaustivamente, le azioni del vento, le azioni sismiche, le azioni gravitazionali, fermi restando gli obblighi indicati al § C.8.3.*

Come specificato nel § 8.3 delle NTC, per questa categoria di interventi la valutazione della sicurezza è obbligatoria e finalizzata a determinare l'entità massima delle azioni, considerate nelle combinazioni di progetto previste, cui la struttura può resistere con il grado di sicurezza richiesto. Essa riguarderà necessariamente, oltre ai possibili meccanismi locali, la struttura nel suo insieme.

Per la combinazione sismica delle azioni, il valore di  $\zeta_E$  definito dalle NTC e introdotto al § C.8.3 può essere minore dell'unità; in particolare, per le costruzioni di classe III ad uso scolastico e di classe IV il valore di  $\zeta_E$  a seguito degli interventi di miglioramento deve essere comunque non minore di 0,6, mentre .....

**8.5.2 Rilievo** - Il rilievo geometrico-strutturale dovrà essere riferito sia alla geometria complessiva, sia della costruzione, sia degli elementi costruttivi, comprendendo i rapporti con le eventuali strutture in aderenza. Nel rilievo dovranno essere rappresentate le modificazioni intervenute nel tempo, come desunte dall'analisi storico-critica.

Il rilievo deve individuare l'organismo resistente della costruzione, tenendo anche presenti la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi.

Dovranno altresì essere rilevati i dissesti, in atto o stabilizzati, ponendo particolare attenzione all'individuazione dei quadri fessurativi e dei meccanismi di danno.

### **C8.5.2 Rilievo**

#### **C8.5.2.1 Costruzioni di calcestruzzo armato o acciaio**

Il rilievo è finalizzato alla definizione sia della geometria esterna, sia dei dettagli di tutti gli elementi costruttivi effettivamente raggiungibili, con funzione strutturale o meno. Per gli elementi aventi funzione strutturale la geometria esterna deve essere sempre descritta in maniera la più completa possibile, allo scopo di ottenere un modello di calcolo affidabile, mentre i dettagli, spesso occultati alla vista (ad esempio la disposizione delle armature), possono essere rilevati a campione, estendendo poi le valutazioni agli altri elementi operando per analogia, anche in forza delle norme vigenti e dei prodotti in commercio all'epoca della costruzione.

Il rilievo di manufatti che non hanno funzione strutturale (pareti divisorie, controsoffitti, impianti) deve essere effettuato con l'obiettivo principale di identificare eventuali rischi per la sicurezza degli abitanti, connessi a problemi di stabilità dei manufatti stessi o delle strutture. Particolarmente pericolose si sono rivelate, in occasione di eventi sismici, le pareti di tamponamento formate da più paramenti accostati e privi di adeguati collegamenti tra loro o/e separati da intercapedini isolanti, ancor più quando non sono contenute in riquadri strutturali.

Il rilievo geometrico degli elementi deve permettere:

- l'identificazione dell'organizzazione strutturale;
- l'individuazione della posizione e delle dimensioni di travi, pilastri, scale e setti;
- l'identificazione dei solai e della loro tipologia, orditura, sezione verticale;
- l'individuazione di tipologia e dimensioni degli elementi non strutturali quali tamponamenti, tramezzature, etc. ....

**8.5.3 Caratterizzazione meccanica dei materiali** - Per conseguire un'adeguata conoscenza delle caratteristiche dei materiali e del loro degrado, ci si baserà su documentazione già disponibile, su verifiche visive in situ e su indagini sperimentali. Le indagini dovranno essere motivate, per tipo e quantità, dal loro effettivo uso nelle verifiche; .....

I valori delle resistenze meccaniche dei materiali verranno valutati sulla base delle indagini e delle

prove effettuate sulla struttura, tenendo motivatamente conto dell'entità delle dispersioni, prescindendo dalle classi discretizzate previste nelle norme per le nuove costruzioni. Per le prove di cui alla Circolare 08 settembre 2010, n. 7617/STC o eventuali successive modifiche o interazioni, il prelievo dei campioni dalla struttura e l'esecuzione delle prove stesse devono essere effettuate a cura di un laboratorio di cui all'articolo 59 del DPR 380/2001.

#### **C8.5.3.2 Costruzioni di calcestruzzo armato o acciaio**

*I valori delle caratteristiche meccaniche dei materiali prescindono dalle classi discretizzate previste nelle NTC.*

*Per definire le caratteristiche meccaniche dei materiali e possibile riferirsi anche alle norme dell'epoca della costruzione.*

**Calcestruzzo:** *si fa riferimento alle Linee Guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera, del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici .*

**Acciaio:** *la misura delle caratteristiche meccaniche si ottiene, in generale, mediante estrazione di campioni ed esecuzione di prove a trazione fino a rottura con determinazione della tensione di snervamento, della resistenza a rottura e dell'allungamento, salvo nel caso in cui siano disponibili certificati di prova conformi a quanto richiesto per le nuove costruzioni nella normativa dell'epoca di costruzione. ....*

*Sono ammessi metodi di indagine non distruttiva di documentata affidabilità, ad integrazione di quelli sopra descritti, purché i risultati siano tarati su quelli ottenuti con prove distruttive.*

*Le prove sui materiali, in analogia a quanto definito per le indagini sui dettagli costruttivi, possono essere eseguite su un numero di elementi diverso, a seconda del livello di conoscenza che si vuole raggiungere.*

*Si possono distinguere, in relazione al loro grado di approfondimento, tre livelli di prova.*

**Prove limitate:** *prevedono un numero limitato di prove in-situ o su campioni, impiegate per completare le informazioni sulle proprietà dei materiali, siano esse ottenute dalle normative in vigore all'epoca della costruzione, o dalle caratteristiche nominali riportate sui disegni costruttivi o nei certificati originali di prova.*

**Prove estese:** *prevedono prove in-situ o su campioni più numerose di quelle del caso precedente e finalizzate a fornire informazioni in assenza sia dei disegni costruttivi, sia dei certificati originali di prova o quando i valori ottenuti con le prove limitate risultino inferiori a quelli riportati nei disegni o sui certificati originali.*

**Prove esaustive:** *prevedono prove in-situ o su campioni più numerose di quelle del caso precedente e finalizzate a ottenere informazioni in mancanza sia dei disegni costruttivi, sia dei certificati originali di prova, o quando i valori ottenuti dalle prove, limitate o estese, risultino inferiori a quelli riportati sui disegni o nei certificati originali, oppure nei casi in cui si desideri una conoscenza particolarmente accurata.*

*Al fine di determinare in maniera opportuna il numero e la localizzazione delle prove sui materiali, e utile:*

- *eseguire un numero limitato di indagini preliminari sugli elementi individuati come rappresentativi a seguito dell'analisi storico-critica, della documentazione disponibile e del rilievo geometrico, al fine di definire un modello preliminare della struttura;*
- *eseguire un'analisi per la verifica preliminare della sicurezza statica e della vulnerabilità sismica,*



utilizzando i dettagli costruttivi valutati nel corso della campagna di indagini preliminari (§ C8.5.2.2).

In base all'esito dell'analisi preliminare e valutata la necessita di approfondimenti della campagna di indagini in termini di numero e localizzazione, in relazione all'impegno statico delle diverse membrature, del loro ruolo riguardo alla sicurezza della struttura e del grado di omogeneità dei risultati delle prove preliminari, anche in relazione a quanto previsto dai documenti originari; il progetto delle prove ne fornisce la misura, consentendo così di graduare quantitativamente il livello di approfondimento.

Per l'identificazione delle caratteristiche dei materiali, i dati raccolti devono includere le seguenti caratteristiche:

- resistenza e, ove significativo, il modulo elastico  $E$  del calcestruzzo;
- tensione di snervamento, resistenza a rottura e allungamento dell'acciaio.

#### **8.5.4 Livelli di conoscenza e fattori di confidenza**

Sulla base degli approfondimenti effettuati nelle fasi conoscitive sopra riportate, saranno individuati i "livelli di conoscenza" dei diversi parametri coinvolti nel modello e definiti i correlati fattori di confidenza, da utilizzare nelle verifiche di sicurezza.

Ai fini della scelta del tipo di analisi e dei valori dei fattori di confidenza si distinguono i tre livelli di conoscenza seguenti, ordinati per informazione crescente:

- LC1;
- LC2;
- LC3.

Gli aspetti che definiscono i livelli di conoscenza sono: geometria della struttura, dettagli costruttivi, proprietà dei materiali, connessioni tra i diversi elementi e loro presumibili modalità di collasso.

Specifica attenzione dovrà essere posta alla completa individuazione dei potenziali meccanismi di collasso locali e globali, duttili e fragili.

#### **C8.5.4 Livelli di conoscenza e fattori di confidenza**

I fattori di confidenza sono utilizzati per la riduzione dei valori dei parametri meccanici dei materiali e devono essere intesi come indicatori del livello di approfondimento raggiunto.

Limitatamente al caso di verifiche in condizioni non sismiche di singoli componenti (ad esempio solai sui quali siano state condotte indagini particolarmente accurate) oppure di verifiche sismiche nei riguardi dei meccanismi locali, è possibile adottare livelli di conoscenza differenziati rispetto a quelli impiegati nelle verifiche sismiche globali.

Di seguito, con riferimento alle specifiche contenute al § 8.5 delle NTC, e riportata una guida alla stima dei Fattori di Confidenza (**FC**), definiti con riferimento ai tre Livelli di Conoscenza (**LC**) crescenti, secondo quanto segue.

**LC1:** si intende raggiunto quando siano stati effettuati, come minimo, l'analisi storico-critica commisurata al livello considerato, con riferimento al § C8.5.1, il rilievo geometrico completo e indagini limitate sui dettagli costruttivi, con riferimento al § C8.5.2, prove limitate sulle caratteristiche meccaniche dei materiali, con riferimento al § C8.5.3; il corrispondente fattore di confidenza è **FC=1,35** (nel caso di costruzioni di acciaio, se il livello di conoscenza non è LC2 solo a causa di una non estesa conoscenza sulle proprietà dei materiali, il fattore di confidenza può essere

*ridotto, giustificandolo con opportune considerazioni anche sulla base dell'epoca di costruzione);*

***LC2:** si intende raggiunto quando siano stati effettuati, come minimo, l'analisi storico-critica commisurata al livello considerato, con riferimento al § C8.5.1, il rilievo geometrico completo e indagini estese sui dettagli costruttivi, con riferimento al § C8.5.2, prove estese sulle caratteristiche meccaniche dei materiali, con riferimento al § C8.5.3; il corrispondente fattore di confidenza è **FC=1,2** (nel caso di costruzioni di acciaio, se il livello di conoscenza non è LC3 solo a causa di una non esaustiva conoscenza sulle proprietà dei materiali, il fattore di confidenza può essere ridotto, giustificandolo con opportune considerazioni anche sulla base dell'epoca di costruzione);*

***LC3:** si intende raggiunto quando siano stati effettuati l'analisi storico-critica commisurata al livello considerato, come descritta al § C8.5.1, il rilievo geometrico, completo ed accurato in ogni sua parte, e indagini esaustive sui dettagli costruttivi, come descritto al § C8.5.2, prove esaustive sulle caratteristiche meccaniche dei materiali, come indicato al § C8.5.3; il corrispondente fattore di confidenza è **FC=1** (da applicarsi limitatamente ai valori di quei parametri per i quali sono state eseguite le prove e le indagini su citate, mentre per gli altri parametri meccanici il valore di FC è definito coerentemente con le corrispondenti prove limitate o estese eseguite).*

*Per raggiungere il livello di conoscenza **LC3**, la disponibilità di un rilievo geometrico completo e l'acquisizione di una conoscenza esaustiva dei dettagli costruttivi sono da considerarsi equivalenti alla disponibilità di documenti progettuali originali, comunque da verificare opportunamente nella loro completezza e rispondenza alla situazione reale.*

*Ci si può riferire alla documentazione in atti, qualora per essa siano stati adempiuti gli obblighi della L. 1086/71 o 64/74 e s.m.i., ma solo dopo adeguata giustificazione eventualmente integrata da indagini in opera. Per la caratterizzazione meccanica dei materiali si possono adottare, motivatamente, i valori caratteristici assunti nel progetto originario o quelli ridotti risultanti dalla documentazione disponibile sui materiali in opera. In questo caso i fattori di confidenza si assumono unitari.*

*La quantità e il tipo di informazioni richieste per conseguire uno dei tre livelli di conoscenza previsti, sono, a titolo esclusivamente orientativo, ulteriormente precisati nel seguito.*

#### **C8.5.4.2 Costruzioni di calcestruzzo armato o di acciaio**

*I fattori di confidenza, determinati in funzione del livello di conoscenza acquisito, vengono applicati ai valori medi delle resistenze dei materiali ottenuti dai campioni di prove distruttive e non distruttive, per fornire una stima dei valori medi delle resistenze dei materiali della struttura, entro l'intervallo di confidenza considerato (in genere si assume un intervallo di confidenza pari al 95%). Per determinare i fattori di confidenza per i diversi elementi strutturali o loro insiemi si deve tener conto che essi includono, oltre alle incertezze nella stima della resistenza dei materiali, anche le incertezze relative all'individuazione dei dettagli costruttivi.*

*Il livello di conoscenza acquisito in base ai rilievi, alle indagini sui dettagli strutturali e alle prove sui materiali, determina i valori dei fattori di confidenza da applicare alle proprietà dei materiali, anche in maniera differenziata per elementi strutturali o gruppi di elementi, e suggerisce il metodo di analisi più appropriato. In assenza di valutazioni specifiche, ci si può riferire alla Tabella C8.5.IV.*

***Tabella C8.5.IV** – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti metodi di analisi ammessi e valori dei fattori di confidenza per edifici in calcestruzzo armato o in acciaio*

**Plesso C Scuola Primaria - Indagini sulle strutture e sui materiali**

<b>Livello di Conoscenza</b>	<b>Geometria (carpenterie)</b>	<b>Dettagli strutturali</b>	<b>Proprietà dei materiali</b>	<b>Metodi di analisi</b>	<b>FC*</b>
<b>LC1</b>	<i>Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo completo</i>	<i>Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e indagini limitate in-situ</i>	<i>Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e limitate prove in-situ</i>	<i>Analisi lineare statica o dinamica</i>	<i>1.35</i>
<b>LC2</b>		<i>Elaborati progettuali incompleti con indagini limitate in situ; in alternativa indagini estese in-situ</i>	<i>Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con prove limitate in-situ; in alternativa prove estese in-situ</i>	<i>Tutti</i>	<i>1.20</i>
<b>LC3</b>		<i>Elaborati progettuali completi con indagini limitate in situ; in alternativa indagini esaustive in-situ</i>	<i>Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto con estese prove in situ; in alternativa prove esaustive in-situ</i>	<i>Tutti</i>	<i>1.00</i>

\* a meno delle ulteriori precisazioni fornite nel § C8.5.4

*La quantità e il tipo di informazioni richieste per conseguire uno dei tre livelli di conoscenza previsti, sono, a titolo esclusivamente orientativo, ulteriormente precisati nel seguito.*

**LC1:** *si intende raggiunto quando sia stata effettuata l'analisi storico-critica commisurata al livello considerato (con riferimento al § C8.5.1), la geometria della struttura sia nota in base ai disegni originali (effettuando un rilievo visivo a campione per verificare l'effettiva corrispondenza del costruito ai disegni) o a un rilievo, poiché non si dispone dei disegni costruttivi i dettagli costruttivi siano stati ricavati sulla base di un progetto simulato (con riferimento al § C8.5.2) e con indagini limitate in-situ sulle armature e sui collegamenti presenti negli elementi più importanti (i dati raccolti devono essere tali da consentire verifiche locali di resistenza), poiché non si dispone di informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali (provenienti dai disegni costruttivi o dai certificati di prova) si siano adottati i valori usuali della pratica costruttiva dell'epoca, convalidati da prove limitate in-situ sugli elementi più importanti (con riferimento al § C8.5.3); il corrispondente fattore di confidenza e **FC=1,35**. La valutazione della sicurezza è, in genere, eseguita mediante analisi lineare, statica o dinamica; le informazioni raccolte devono consentire la messa a punto di un modello strutturale idoneo.*

**LC2:** *si intende raggiunto quando sia stata effettuata l'analisi storico-critica commisurata al livello considerato (con riferimento al § C8.5.1), la geometria della struttura sia nota in base ai disegni originali (effettuando un rilievo visivo a campione per verificare l'effettiva corrispondenza del costruito ai disegni) o a un rilievo, i dettagli costruttivi siano noti, o parzialmente dai disegni costruttivi originali integrati da indagini limitate in situ sulle armature e sui collegamenti presenti negli elementi più importanti, o (con riferimento al § C8.5.2) a seguito di una indagine estesa in situ (i dati raccolti devono essere 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), le caratteristiche meccaniche dei materiali siano note in base ai disegni costruttivi, integrati da prove limitate in situ (se i valori ottenuti dalle prove in situ sono minori dei corrispondenti valori indicati nei disegni di*

## Plesso C Scuola Primaria - Indagini sulle strutture e sui materiali

progetto, si eseguono prove estese in situ), o con prove estese in situ (con riferimento al § C8.5.3); il corrispondente fattore di confidenza è  $FC=1,2$ . La valutazione della sicurezza è eseguita mediante metodi di analisi lineare o non lineare, statici o dinamici; le informazioni raccolte sulle dimensioni degli elementi strutturali, insieme a quelle riguardanti i dettagli strutturali, devono consentire la messa a punto di un modello strutturale idoneo.

**LC3:** si intende raggiunto quando sia stata effettuata l'analisi .....

Le resistenze dei materiali cui riferirsi nelle formule di capacità degli elementi sono ricavate dalle resistenze medie, ottenute dalle informazioni disponibili e dalle prove in situ aggiuntive, dividendole per gli FC indicati nella Tabella C8.5.IV.

Gli FC possono essere valutati anche in modo differenziato per i diversi materiali, sulla base di considerazioni statistiche condotte su un insieme di dati significativo per gli elementi in esame e di metodi di comprovata validità.

A titolo esclusivamente orientativo, nelle tabelle C8.5.V e C8.5.VI si lega il livello (limitato, esteso, esaustivo) delle indagini alla quantità di rilievi dei dettagli costruttivi e di prove per la valutazione delle caratteristiche meccaniche dei materiali. Rimane inteso che il piano delle indagini deve essere opportunamente calibrato in funzione dell'analisi preliminare (v. § C8.5.2.2 e C8.5.3.2) e quindi, in relazione al livello di conoscenza da raggiungere, orientato agli approfondimenti necessari nelle zone della costruzione ove risulti opportuno, sia in relazione all'impegno statico delle diverse membrature e al loro ruolo riguardo alla sicurezza della struttura, sia in relazione al grado di omogeneità dei risultati delle prove preliminari e al loro accordo con quanto previsto dai documenti originari.

Tabella C8.5.V – Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prova per edifici di c.a.

Livello di indagini e prove	Rilievo (dei dettagli costruttivi) (a)	Prove (sui materiali) (b)(c)d)
	Per ogni tipo di elemento "primario" (trave, pilastro)	
limitato	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 15% degli elementi	1 provino di cls. per 300 m <sup>2</sup> di piano dell'edificio, 1 campione di armatura per piano dell'edificio
esteso	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 35% degli elementi	2 provini di cls. per 300 m <sup>2</sup> di piano dell'edificio, 2 campioni di armatura per piano dell'edificio
esaustivo	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 50% degli elementi	3 provini di cls. per 300 m <sup>2</sup> di piano dell'edificio, 3 campioni di armatura per piano dell'edificio

Tabella C8.5.VI – Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prove per edifici in acciaio

.....

### NOTE ESPLICATIVE ALLE TABELLE C8.5.V E C8.5.VI

Le percentuali di elementi da indagare ed il numero di provini da estrarre e sottoporre a prove di resistenza riportati nelle Tabelle C8.5.V e C8.5.VI hanno valore indicativo e vanno adattati ai singoli casi, tenendo conto dei seguenti aspetti:

- a) Nel controllo del raggiungimento delle percentuali di elementi indagati ai fini del rilievo dei dettagli costruttivi si tiene conto delle eventuali situazioni ripetitive, che consentano di estendere ad una più ampia percentuale i controlli effettuati su alcuni elementi strutturali facenti parte di una serie con evidenti caratteristiche di ripetibilità, per geometria e ruolo uguali nello schema strutturale.

- b) *Le prove sugli acciai sono finalizzate all'identificazione della classe dell'acciaio utilizzata con riferimento alla normativa vigente all'epoca di costruzione. Ai fini del raggiungimento del numero di prove sull'acciaio necessario per acquisire il livello di conoscenza desiderato e opportuno tener conto dei diametri (nelle strutture in c.a.) o dei profili (nelle strutture in acciaio) di più diffuso impiego negli elementi principali, con esclusione delle staffe.*
- c) *Ai fini delle prove sui materiali è consentito sostituire alcune prove distruttive, non più del 50%, con almeno il triplo di prove non distruttive, singole o combinate, tarate su quelle distruttive.*
- d) *Il numero di provini riportato nelle tabelle C8.5.V e C8.5.VI può essere variato, in aumento o in diminuzione, in relazione alle caratteristiche di omogeneità del materiale. Nel caso del calcestruzzo in opera, tali caratteristiche sono spesso legate alle modalità costruttive tipiche dell'epoca di costruzione e del tipo di manufatto, di cui occorrerà tener conto nel pianificare l'indagine. Sarà opportuno, in tal senso, prevedere l'effettuazione di una seconda campagna di prove integrative, nel caso in cui i risultati della prima risultino fortemente disomogenei.*

### **8.5.5 Azioni**

*I valori delle azioni e le loro combinazioni da considerare nel calcolo, sia per la valutazione della sicurezza sia per il progetto degli interventi, sono quelle definite dalla presente norma per le nuove costruzioni, salvo quanto di seguito precisato nel presente capitolo.*

*Per i carichi permanenti, un accurato rilievo geometrico-strutturale e dei materiali potrà consentire di adottare coefficienti parziali modificati, assegnando valori di  $\gamma_G$  esplicitamente motivati. I valori di progetto delle altre azioni saranno quelli previsti dalla presente norma.*

### **8.7.2 Costruzioni in cemento armato o in acciaio**

*Nelle costruzioni esistenti in calcestruzzo armato o in acciaio soggette ad azioni sismiche viene attivata la capacità di elementi e meccanismi resistenti, che possono essere "duttili" o "fragili".*

*L'analisi sismica globale deve utilizzare, per quanto possibile, metodi di analisi che consentano di valutare in maniera appropriata sia la resistenza sia la duttilità disponibili. L'impiego di metodi di calcolo lineari richiede al progettista un'opportuna definizione del fattore di comportamento in relazione alle caratteristiche meccaniche, globali e locali, della struttura in esame.*

*I meccanismi "duttili" si verificano controllando che la domanda non superi la corrispondente capacità in termini di deformazione o di resistenza in relazione al metodo utilizzato; i meccanismi "fragili" si verificano controllando che la domanda non superi la corrispondente capacità in termini di resistenza.*

*Per il calcolo della capacità di elementi/meccanismi duttili si impiegano le proprietà dei materiali esistenti, determinate secondo le modalità indicate al § 8.5.3, divise per i fattori di confidenza corrispondenti al livello di conoscenza raggiunto.*

*Per il calcolo della capacità di elementi/meccanismi fragili, le resistenze dei materiali si dividono per i corrispondenti coefficienti parziali e per i fattori di confidenza corrispondenti al livello di conoscenza raggiunto.*

*Per i materiali nuovi o aggiunti si impiegano le proprietà di calcolo come per le nuove costruzioni.*

*Nel caso di demolizioni o interventi su organismi in c.a. facenti parte di aggregati edilizi è fatto obbligo al progettista di operare indagini e/o verifiche atte ad accertare, preliminarmente, l'assenza di interazioni con i corpi adiacenti, al fine di poter escludere il prodursi, su di essi, di modifiche in senso negativo del comportamento strutturale a seguito delle demolizioni o degli interventi.*

### **C8.7.2.2 Metodi di analisi e criteri di verifica**

*Gli effetti dell'azione sismica, possono essere valutati con i metodi di cui al § 7.3 delle NTC, con le precisazioni seguenti.*

*Ai fini delle verifiche di sicurezza, gli elementi/meccanismi strutturali vengono distinti in “duttili” e “fragili”. La classificazione degli elementi/meccanismi nelle due categorie è fornita in § C8.7.2.3 per le costruzioni in c.a. e in § C8.7.2.4 per le costruzioni in acciaio.*

*I fattori di confidenza indicati nella Tabella C8.5.III servono a un duplice scopo:*

- a) per definire le resistenze dei materiali da utilizzare nelle formule di capacità degli elementi duttili e fragili; le resistenze medie, ottenute dalle prove in situ e dalle informazioni aggiuntive, sono divise per i fattori di confidenza;*
- b) per determinare le sollecitazioni trasmesse dagli elementi/meccanismi duttili a quelli fragili; le resistenze medie degli elementi duttili, ottenute dalle prove in situ e dalle informazioni aggiuntive, sono moltiplicate per i fattori di confidenza. ....*

### **C8.7.2.2.3 Analisi statica non lineare**

*Tale metodo di analisi si applica con le modalità indicate al § 7.3.4.1 delle NTC, con le limitazioni della Tabella C8.5.IV.*

*Le sollecitazioni indotte dall'azione sismica sugli elementi/meccanismi sia duttili sia fragili, da utilizzare ai fini delle verifiche, sono quelle derivanti dall'analisi strutturale eseguita utilizzando i valori medi delle proprietà dei materiali.*

*La verifica degli elementi “duttili” è eseguita confrontando la domanda in termini di deformazioni ottenuta dall'analisi con la relativa capacità.*

*La verifica degli elementi “fragili” è eseguita confrontando la domanda in termini di sollecitazioni con la relativa capacità.*

*Nel caso di analisi statica non lineare con ramo degradante e stati limite che si verificano su questo, inoltre:*

- nel caso di elementi duttili la domanda in termini di deformazione si calcola in corrispondenza di  $d_{max}$  per ciascuno stato limite;*
- nel caso di elementi fragili la domanda in termini di sollecitazione di taglio si può calcolare utilizzando la seguente procedura:*
  - a) si valuta il taglio massimo alla base  $V_{bu}$  sulla base dei risultati dell'analisi statica non lineare*
  - b) si individua lo spostamento  $d_{cu}$  corrispondente al raggiungimento di tale sollecitazione di taglio*
  - c) se lo spostamento  $d_{max}$  relativo allo stato limite considerato è minore di  $d_{cu}$ , la domanda in termini di sollecitazione di taglio si calcola in corrispondenza di  $d_{max}$*
  - d) se  $d_{max} > d_{cu}$ , la domanda in termini di sollecitazione di taglio si calcola in corrispondenza di  $d_{cu}$ .*

La normativa prevede che in zona sismica il calcolo può essere effettuato mediante:

- Analisi statica lineare con spettro elastico;
- Analisi statica lineare con fattore  $q$ ;
- Analisi dinamica modale con spettro di risposta o con fattore  $q$ ;
- Analisi statica non lineare;
- Analisi dinamica non lineare.

Nel caso in esame si è eseguito un calcolo con **analisi statica non lineare (push-over)** seguendo le indicazioni della circolare.

#### **4. INDAGINI STRUTTURALI**

Le NTC18 e la relativa Circolare n. 7/2019 sopra richiamate danno precise indicazioni sulle indagini da eseguire al fine di individuare l'organismo resistente della costruzione, la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi, le caratteristiche dei materiali e il loro degrado. Inoltre, per conseguire un'adeguata conoscenza, ci si baserà sulla documentazione disponibile, sulle verifiche visive in situ e sulle indagini sperimentali.

Tali prescrizioni consentono di evidenziare che, preliminarmente alla progettazione del piano di prove strutturali, risulta di fondamentale importanza acquisire tutta la documentazione disponibile (progetto originario ed eventuali atti di collaudo).

##### **4.1. Indagini preliminari - acquisizione progetto e documentazione tecnica**

E' stata acquisito presso l'ufficio tecnico del comune di Alessandria della Rocca, copia del progetto esecutivo dei "LAVORI DI COMPLETAMENTO E RISTRUTTURAZIONE DELL'ISTITUTO COMPRENSIVO ED ADEGUAMENTO ALLE NORMATIVE DI SICUREZZA" redatto dal Dott. Ing. Stefano Leto Barone in data 07/03/2016; la documentazione progettuale acquisita si compone di:

TAV. 1 Relazione generale

TAV. 2 Relazioni specialistiche

TAV. 3 Inquadramento territoriale

TAV. 4 Stralci planimetrici

TAV. 5 Pianta ingombro edificio e pianta copertura

TAV. 6 Pianta stato attuale

TAV. 7A Prospetti stato attuale

TAV. 7B Prospetti stato attuale

TAV. 8 Sezioni stato attuale

TAV. 9 Pianta stato futuro

TAV. 10A Prospetti stato futuro

TAV. 10B Prospetti stato futuro

TAV. 11 Sezioni stato futuro

TAV. 12 Pianta controsoffitti

TAV. 13 Impianto elettrico

TAV.14A Impianto di illuminazione – distribuzione corpi illuminanti

TAV.14B Impianto di illuminazione – distribuzione linee

TAV.15A Impianto di condizionamento – distribuzione corpi riscaldanti

TAV.15B Impianto di condizionamento – distribuzione linee

TAV.16A Impianto antincendio – distribuzione presidi

TAV.16B Impianto antincendio – distribuzione rilevatori di fumo a soffitto

TAV.16C Impianto antincendio – distribuzione rilevatori di fumo a controsoffitto

TAV.17 Impianto solare termico

TAV.18 Calcoli Esecutivi Impianti

TAV.19 Piano di manutenzione dell'opera e delle sue parti

TAV.20 Piano di Sicurezza e Coordinamento e Quadro di Incidenza della manodopera

TAV.21 Computo Metrico Estimativo e Quadro Economico

TAV.22 Cronoprogramma

TAV.23 Elenco dei Prezzi Unitari

TAV.24 Schema di Contratto e Capitolato Speciale di Appalto

Sono stati altresì acquisiti alcuni elaborati progettuali e contabili relativi alla costruzione del plesso scolastico redatti dal Dott. Ing. Francesco Di Mino

Sulla scorta della documentazione acquisita sono stati effettuati diversi sopralluoghi che hanno consentito di:

- Definire la geometria dell'edificio ed in particolare le dimensioni dei vari elementi strutturali;
- Verificare l'integrità degli elementi strutturali riscontrando l'assenza di fessure o lesioni che possano evidenziare una qualche carenza strutturale;
- Rilevare la disposizione ed il tipo di armatura longitudinale degli elementi strutturali;
- Rilevare che le barre di armatura emergenti dal terrazzo sono del tipo nervato in discrete condizioni di conservazione in quanto non presentano tracce di ossidazione nonostante l'esposizione diretta all'aria;
- Verificare che il conglomerato cementizio di alcuni elementi strutturali in vista presenta (pilastri e cornicioni) segni di ammaloramento dovuti alla mancata manutenzione ad essa esposizione agli agenti atmosferici;
- Rilevare che il terreno di fondazione non è interessato da falde idriche, da piani di scorrimento o da fenomeni geomorfologicamente attivi che possano costituire pregiudizio per la stabilità dell'edificio;

Queste indagini preliminari, inoltre, hanno consentito di definire un piano di prove strutturali che risponda alle indicazioni della NTC2018 e Circolare n. 7/2019 che costituisce comunque un utile riferimento per il progettista per stabilire numero, tipo e posizione delle prove da eseguire.

**4.2. Indagini strutturali - generalità**

Per le strutture in cemento armato, le norme prevedono diversi livelli di conoscenza in relazione ai livelli di indagini e prove sui materiali che si realizzano mediante verifiche limitate, estese o esaustive. Tipicamente, se la progettazione del piano delle prove viene preceduto dalle analisi preliminari sopra descritte, è possibile effettuare la valutazione della sicurezza globale basandosi su verifiche limitate (1 provino di cls per 300 mq di piano dell'edificio, 1 campione di armatura per piano dell'edificio). In taluni casi (ad esempio nel caso di strutture con elevato numero di piani oppure nel caso di strutture giuntate costituite da corpi di fabbrica realizzati in tempi diversi), è possibile:

- a) ridurre ulteriormente il numero di carote di calcestruzzo sfruttando quanto suggerito dalla Circolare per cui "Ai fini delle prove sui materiali è consentito sostituire alcune prove distruttive, non più del 50%, con un più ampio numero, almeno il triplo, di prove non distruttive, singole o combinate, tarate su quelle distruttive";
- b) valutare la possibilità di ridurre il numero dei prelievi di campioni di armatura, in considerazione della delicatezza e della laboriosità dell'estrazione e del successivo ripristino; ciò è tipicamente possibile quando è nota con buona approssimazione l'epoca di costruzione e quindi la relativa classe dell'acciaio utilizzato come barre di armatura.

L'esecuzione delle prove distruttive induce sugli elementi indagati un danneggiamento e, quindi, necessita di cautela e di personale specializzato sia per la loro realizzazione sia per il conseguente ripristino strutturale. Occorre poi una particolare attenzione e cura nella pianificazione e interpretazione dei risultati, per ottimizzare il numero di prove necessarie in relazione al livello di conoscenza da conseguire. Le prove distruttive rappresentano il modo più diretto con cui determinare



la resistenza dei materiali e, pertanto, si ritiene che esse garantiscano la certezza dei risultati. Tale assunzione, però, appare fuorviante quando nella fase di prelievo non si adottano le giuste cautele. Le prove non distruttive determinano la resistenza per via indiretta, attraverso la misura di parametri ad essa correlata, senza arrecare sostanziali disturbi ai materiali e alla struttura. Essendo un metodo indiretto, quindi, è però importante calibrare i risultati su un adeguato numero di indagini distruttive. Si evidenzia, comunque, che sia le prove distruttive che quelle non distruttive comportano un inevitabile disturbo negli ambienti in cui si svolgono le indagini, per la necessità di rimuovere le finiture quali l'intonaco e/o i rivestimenti nelle zone oggetto di indagine.

### **4.3. Prove per strutture in calcestruzzo armato**

#### **4.3.1. Indagini non distruttive**

Nell'ambito delle indagini non distruttive è stata prevista l'effettuazione di prove pacometriche e sclerometriche.

La finalità principale delle indagini sulle costruzioni esistenti in cemento armato è la conoscenza delle dimensioni geometriche degli elementi resistenti, il diametro e la disposizione delle armature e le caratteristiche meccaniche del calcestruzzo e delle armature in acciaio. Se la posizione degli elementi strutturali e le dimensioni delle loro sezioni in calcestruzzo sono facilmente misurabili, non può dirsi altrettanto per quanto attiene disposizione e diametro delle barre di armatura contenute negli elementi, per la cui determinazione si dovranno adottare le tecniche più opportune quali, ad esempio, le prove pacometriche e saggi diretti.

##### **4.3.1.1. Prove pacometriche**

Consistono nella misura del campo magnetico determinato dalla presenza di armature di acciaio in vicinanza della superficie del calcestruzzo degli elementi strutturali (travi, pilastri, pareti). Tali prove consentono di "leggere", in proiezione sulla superficie di calcestruzzo, la posizione delle armature, così da consentire una stima della misura dell'interfero e del copriferro delle armature longitudinali, presenti nel piano parallelo al piano d'indagine, e del passo delle staffe.

L'utilizzo del pacometro, come strumento di prova non distruttivo, è regolato dalla norme BS 1881:204. Su ogni faccia delle superfici di calcestruzzo è individuabile la posizione delle barre di armatura. Ripetendo l'operazione su più sezioni dell'elemento, e disegnando sulla superficie dello stesso, mediante una matita o altro, una retta che passi per i punti individuati, sarà possibile tracciare il reticolo delle armature presenti in vicinanza della superficie indagata.

La prova pacometrica consente anche di individuare le zone dell'elemento prive di armatura nelle quali eseguire le indagini finalizzate alla conoscenza delle caratteristiche del calcestruzzo, quali, ad esempio, il prelievo di carote e le prove sclerometriche. Ne consegue che l'indagine pacometrica deve essere preliminare a qualsiasi altro tipo di indagine, distruttiva e non, condotta su elementi in cemento armato. In funzione del tipo di strumento, noto il copriferro, è anche determinabile il diametro delle barre di armatura. Si sottolinea che gli abachi standardizzati a corredo di alcuni pacometri, indicanti il diametro delle armature in funzione del copriferro (trasversale al piano su cui si sta lavorando), devono esser utilizzati con molta cautela, a causa dell'elevata incertezza sulla conoscenza del reale spessore del copriferro presente in corrispondenza di ciascuna barra posta in opera. È auspicabile che tale operazione venga eseguita abbinando dei saggi sul calcestruzzo atti ad accertare il reale valore del copriferro. Si ricorda che tali indagini dovranno essere eseguite previa rimozione dell'intonaco, salvo quando l'indagine pacometrica abbia solo la finalità di individuare la posizione delle armature.

#### 4.3.1.1.1. Esecuzione delle prove pacometriche

Le indagini pacometriche sono state eseguite, in parte dal Laboratorio Ufficiale RTA con sede in via Unità d'Italia n° 62/f di Agrigento, ed in parte dal sottoscritto.

##### Prove pacometriche eseguite dal lab. R.T.A.

Come riportato nella Relazione sulle indagini strutturali rilasciata dal laboratorio RTA in data 25 settembre 2019 sono state eseguite delle prove con pacometro marca BARTRACKER, mod. 58-E6102, Serie 08600431, i cui risultati sono riportati nell'allegato "D" di detta relazione;

Facendo riferimento ai disegni di carpenteria si riportano le risultanze delle indagini eseguite sui seguenti elementi strutturali:

- a) **Saggio Pac P1 Ft S10:** Pilastro A17 Struttura "A" impalcato a quota 3,45 m avente dimensioni di 50\*30 cm (pilastro d'angolo) all'altezza di 1 m circa dalla quota impalcato:
  - Sul lato di cm 50 riscontrate tre barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm;
  - Sul lato di cm 30 riscontrate tre barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm;
  - Su entrambe le facce del pilastro sono state riscontrate staffe del diametro di 8 mm poste ad interasse medio di 17 cm.
- b) **Saggio Pac P2:** Pilastro B11 Struttura "B" impalcato a quota 0,00 m avente dimensioni di 50\*30 cm (pilastro d'angolo) all'altezza di 1 m circa dalla quota impalcato:
  - Sul lato di cm 50 riscontrate tre barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm;
  - Sul lato di cm 30 riscontrate due barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm;
  - Su entrambe le facce del pilastro sono state riscontrate staffe del diametro di 8 mm poste ad interasse medio di 18 cm.
- c) **Saggio Pac T1:** Trave A20-A21 Struttura "A" impalcato a quota 8,20-9,35 m avente dimensioni di 30\*50 cm (trave di copertura) per un tratto di 83 cm a partire dal pilastro "A20":
  - Sul lato di cm 50 (altezza della trave) riscontrata una barra di armatura longitudinale del diametro di 14 mm in corrispondenza del lato inferiore della trave (la presenza del cornicione e del solaio non consente di riscontrare l'armatura longitudinale superiore);
  - Sul lato di cm 30 riscontrate due barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm in corrispondenza del lato inferiore della trave (la presenza del cornicione e del solaio non consente di riscontrare l'armatura longitudinale superiore);
  - A partire dal pilastro "A20" e per un tratto indagato di 83 cm circa sono state riscontrate staffe del diametro di 8 mm ad interasse di cm 10-10-14-17-25-19-22 (raffittimento delle staffe in prossimità del nodo) per un interasse medio di 14 cm;
- d) **Saggio Pac T2:** Trave A22-A27 Struttura "A" impalcato a quota 8,20-9,35 m avente dimensioni di 40\*80 cm (trave di copertura) in prossimità del pilastro "A27":
  - Sul lato di cm 80 (altezza della trave) riscontrate due barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm: una in corrispondenza del lato inferiore della trave e l'altra a circa metà altezza (la presenza del solaio non consente di riscontrare l'armatura longitudinale superiore);
  - Sul lato di cm 40 riscontrate quattro barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm in corrispondenza del lato inferiore della trave (la presenza del cornicione e del solaio non consente di riscontrare l'armatura longitudinale superiore);
  - Su entrambe le facce della trave sono state riscontrate staffe del diametro di 8 mm poste ad interasse medio di 13 cm.

##### Prove pacometriche eseguite dal sottoscritto

Sono state effettuate ulteriori prove pacometriche per avere maggiori dettagli costruttivi sugli elementi strutturali, utilizzando un pacometro marca PROCEQ, mod. Profoscope+ serie PS02-0050506.

Facendo riferimento ai disegni di carpenteria si riportano, nel seguito, le risultanze delle indagini eseguite sui vari elementi strutturali:

- e) **Saggio Pac T3:** Trave A10-A26 Struttura "A" impalcato a quota 3,45 m avente dimensioni di 40\*60 cm (trave di copertura) in prossimità della mezzeria:
- Sul lato di cm 60 (altezza della trave) riscontrate due barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm: una in corrispondenza del lato inferiore della trave e l'altra a circa metà altezza (la presenza del solaio non consente di riscontrare l'armatura longitudinale superiore);
  - Sul lato di cm 40 riscontrate quattro barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm in corrispondenza del lato inferiore della trave;
  - Su entrambe le facce della trave sono state riscontrate staffe del diametro di 8 mm poste ad interasse medio di 20 cm.
- f) **Saggio Pac P3:** Pilastro A21 Struttura "A" impalcato a quota 3,45 m avente dimensioni di 40\*60 cm all'altezza di 1 m circa dalla quota impalcato:
- Sul lato di cm 60 riscontrate tre barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm;
  - Sul lato di cm 40 riscontrate tre barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm;
  - Su entrambe le facce del pilastro sono state riscontrate staffe del diametro di 8 mm poste ad interasse medio di 14 cm.
- g) **Saggio Pac P4:** Pilastro A10 Struttura "A" impalcato a quota 3,45 m avente dimensioni di 40\*60 cm all'altezza di 1 m circa dalla quota impalcato:
- Sul lato di cm 60 riscontrate tre barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm;
  - Sul lato di cm 40 riscontrate tre barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm;
  - Su entrambe le facce del pilastro sono state riscontrate staffe del diametro di 8 mm poste ad interasse medio di 14 cm.
- h) **Saggio Pac T4:** Trave A22-A23 Struttura "A" impalcato a quota 8,20-9,35 m avente dimensioni di 50\*20 cm (trave di copertura a spessore) in prossimità della mezzeria:
- Sul lato di cm 50 riscontrate tre barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm in corrispondenza del lato inferiore della trave (la presenza del solaio non consente di riscontrare l'armatura longitudinale superiore);
  - Su entrambe le facce della trave sono state riscontrate staffe del diametro di 8 mm poste ad interasse medio di 22 cm.
- i) **Saggio Pac T5:** Trave A26-A21 Struttura "A" impalcato a quota 8,20-9,35 m avente dimensioni di 40\*80 cm (trave di copertura) in prossimità del pilastro "A21":
- Sul lato di cm 80 (altezza della trave) riscontrate due barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm: una in corrispondenza del lato inferiore della trave e l'altra a circa metà altezza (la presenza del solaio non consente di riscontrare l'armatura longitudinale superiore);
  - Sul lato di cm 40 riscontrate due barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm in corrispondenza del lato inferiore della trave;
  - Su entrambe le facce della trave sono state riscontrate staffe del diametro di 8 mm poste ad interasse medio di 16 cm.
- j) **Saggio Pac P5 e Ft S7:** Pilastro A3 Struttura "A" impalcato a quota 0,00 m avente dimensioni di

30\*55 cm all'altezza di circa 0,5 m dalla quota impalcato:

- Sul lato di cm 30 riscontrate quattro barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm;
- Sulla faccia del pilastro sono state riscontrate staffe del diametro di 8 mm poste ad interasse medio di 25 cm.
- Effettuata la scarificazione del copriferro riscontrando la corrispondenza delle armature rilevate con la prova pacometrica ( Foto S7);

k) **Saggio Pac T6:** Trave A26-A21 Struttura "A" impalcato a quota 8,20-9,35 m avente dimensioni di 40\*80 cm (trave di copertura) in prossimità del pilastro "A26 corrispondente alla mezzeria della trave A10-A21:

- Sul lato di cm 80 (altezza della trave) riscontrate due barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm: una in corrispondenza del lato inferiore della trave e l'altra a circa metà altezza (la presenza del solaio non consente di riscontrare l'armatura longitudinale superiore);
- Sul lato di cm 40 riscontrate cinque barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm in corrispondenza del lato inferiore della trave (la presenza del solaio non consente di riscontrare l'armatura longitudinale superiore);
- Su entrambe le facce della trave sono state riscontrate staffe del diametro di 8 mm poste ad interasse medio di 20 cm.

l) **Saggio Pac P6:** Pilastro A20 Struttura "A" impalcato a quota 3,45 m avente dimensioni di 40\*60 cm all'altezza di circa 1 m dalla quota impalcato:

- Sul lato di cm 40 riscontrate tre barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm;
- Sulla faccia del pilastro sono state riscontrate staffe del diametro di 8 mm poste ad interasse medio di 15 cm.

m) **Saggio Pac P7:** Pilastro A19 Struttura "A" impalcato a quota 3,45 m avente dimensioni di 30\*50 cm all'altezza di circa 1 m dalla quota impalcato:

- Sul lato di cm 30 riscontrate tre barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm;
- Sulla faccia del pilastro sono state riscontrate staffe del diametro di 8 mm poste ad interasse medio di 15 cm.

n) **Saggio Pac P8:** Pilastro A18 Struttura "A" impalcato a quota 3,45 m avente dimensioni di 30\*50 cm all'altezza di circa 1 m dalla quota impalcato:

- Sul lato di cm 30 riscontrate tre barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm;
- Sulla faccia del pilastro sono state riscontrate staffe del diametro di 8 mm poste ad interasse medio di 18 cm.

o) **Saggio Pac P9:** Pilastro A17 Struttura "A" impalcato a quota 3,45 m avente dimensioni di 30\*50 cm all'altezza di circa 1 m dalla quota impalcato:

- Sul lato di cm 30 riscontrate tre barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm;
- Sulla faccia del pilastro sono state riscontrate staffe del diametro di 8 mm poste ad interasse medio di 17 cm.

p) **Saggio Pac T7:** Trave A16-A19 Struttura "A" impalcato a quota 8,20-9,35 m avente dimensioni di 30\*40 cm (trave di copertura) in prossimità della mezzeria:

- Sul lato di cm 40 (altezza della trave) riscontrate tre barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm: una in corrispondenza del lato inferiore della trave e l'altra a circa metà altezza e la terza sul lato superiore;

- Sulla faccia della trave sono state riscontrate staffe del diametro di 8 mm poste ad interasse medio di 22 cm.
- q) **Saggio Pac T8:** Trave A9-A2 Struttura “A” impalcato a quota 8,20-9,35 m avente dimensioni di 30\*60 cm (trave di copertura) in prossimità della mezzeria:
- Sul lato di cm 60 (altezza della trave) riscontrate due barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm: una in corrispondenza del lato inferiore della trave e l'altra a circa metà altezza e la terza sul lato superiore (la presenza del solaio non consente di riscontrare l'armatura longitudinale superiore ed il tomagno non consente di rilevare l'armatura longitudinale sulla faccia inferiore);
  - Sulla faccia della trave sono state riscontrate staffe del diametro di 8 mm poste ad interasse medio di 22 cm.
- r) **Saggio Pac T9:** Trave A11-A4 Struttura “A” impalcato a quota 8,20-9,35 m avente dimensioni di 30\*60 cm (trave di copertura) in prossimità della mezzeria:
- Sul lato di cm 60 (altezza della trave) riscontrate due barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm: una in corrispondenza del lato inferiore della trave e l'altra a circa metà altezza e la terza sul lato superiore (la presenza del solaio non consente di riscontrare l'armatura longitudinale superiore ed il tomagno non consente di rilevare l'armatura longitudinale sulla faccia inferiore);
  - Sulla faccia della trave sono state riscontrate staffe del diametro di 8 mm poste ad interasse medio di 22 cm.
- s) **Saggio Pac P10 e Ft S6:** Pilastro A13 Struttura “A” impalcato a quota 0,00 m avente dimensioni di 30\*55 cm all'altezza di circa 1,5 m dalla quota impalcato:
- Sul lato di cm 30 riscontrate due barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm;
  - Sul lato di cm 55 riscontrate due barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm;
  - Sulle due facce del pilastro sono state riscontrate staffe del diametro di 8 mm poste ad interasse medio di 20 cm.
  - Effettuata la scarificazione del copriferro riscontrando la corrispondenza delle armature rilevate con la prova pacometrica ( Foto S6);
- t) **Saggio Pac P11 e Ft S8:** Pilastro A1 Struttura “A” impalcato a quota 0,00 m avente dimensioni di 30\*55 cm all'altezza della quota impalcato:
- Sul lato di cm 30 riscontrate quattro barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm;
  - Sulla faccia del pilastro sono state riscontrate staffe del diametro di 8 mm poste ad interasse medio di 28 cm.
  - Effettuata la scarificazione del copriferro riscontrando la corrispondenza delle armature rilevate con la prova pacometrica ( Foto S8);
- u) **Saggio Pac P15 e Ft S9:** Pilastro A6 Struttura “A” impalcato a quota 0,00 m avente dimensioni di 30\*50 cm all'altezza di circa 0,8 m dalla quota impalcato:
- Sul lato di cm 30 riscontrate due barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm;
  - Sulla faccia del pilastro sono state riscontrate staffe del diametro di 8 mm poste ad interasse medio di 21 cm.
  - Effettuata la scarificazione del copriferro riscontrando la corrispondenza delle armature rilevate con la prova pacometrica ( Foto S9);

- v) **Saggio Pac T10 Ft S2:** Trave B14-B15 Struttura “B” impalcato a quota 5,10 m avente dimensioni di 30\*50 cm (trave di copertura) in prossimità della mezzeria:
- Sul lato di cm 50 (altezza della trave) riscontrata una barra di armatura longitudinale del diametro di 14 mm in corrispondenza del lato inferiore della trave (la presenza del cornicione e del solaio non consente di riscontrare l’armatura longitudinale superiore);
  - Sulla faccia della trave sono state riscontrate staffe del diametro di 8 mm poste ad interasse medio di 20 cm.
  - Effettuata la scarificazione del copriferro riscontrando la corrispondenza delle armature rilevate con la prova pacometrica ( Foto S2);
- w) **Saggio Pac P12 e Ft S3:** Pilastro B15 Struttura “B” impalcato a quota 0,00 m avente dimensioni di 30\*50 cm all’altezza di circa 1 m dalla quota impalcato:
- Sul lato di cm 30 (faccia esterna del pilastro) riscontrate quattro barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm;
  - Sul lato di cm 30 (faccia interna del pilastro) riscontrate tre barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm;
  - Sulle due facce del pilastro sono state riscontrate staffe del diametro di 8 mm poste ad interasse medio di 20 cm.
  - Effettuata la scarificazione del copriferro (faccia esterna del pilastro) riscontrando la corrispondenza delle armature rilevate con la prova pacometrica ( Foto S3);
- x) **Saggio Pac P13:** Pilastro B9 Struttura “B” impalcato a quota 0,00 m avente dimensioni di 30\*50 cm all’altezza di circa 0,5 m dalla quota impalcato:
- Sul lato di cm 30 (faccia esterna del pilastro) riscontrate tre barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm;
  - Sul lato di cm 50 (faccia esterna del pilastro) riscontrate tre barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm;
  - Sulle due facce del pilastro sono state riscontrate staffe del diametro di 8 mm poste ad interasse medio di 20 cm.
- y) **Saggio Pac T11:** Trave B13-B6 Struttura “B” impalcato a quota 5,10 m avente dimensioni di 30\*60 cm (trave di copertura) in prossimità della mezzeria:
- Sul lato di cm 60 (altezza della trave) riscontrate due barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm: una in corrispondenza del lato inferiore della trave e l’altra a circa metà altezza (la presenza del solaio non consente di riscontrare l’armatura longitudinale superiore);
  - Sul lato di cm 30 riscontrate due barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm;
  - Sulle facce della trave sono state riscontrate staffe del diametro di 8 mm poste ad interasse medio di 22 cm.
- z) **Saggio Pac T12:** Trave B12-B5 Struttura “B” impalcato a quota 5,10 m avente dimensioni di 30\*60 cm (trave di copertura) in prossimità della mezzeria:
- Sul lato di cm 60 (altezza della trave) riscontrate tre barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm: una in corrispondenza del lato inferiore della trave, l’altra a circa metà altezza e la terza in corrispondenza dell’intersezione col solaio) (la presenza del solaio non consente di riscontrare l’armatura longitudinale superiore);
  - Sul lato di cm 30 riscontrate due barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm;

- Sulle facce della trave sono state riscontrate staffe del diametro di 8 mm poste ad interasse medio di 23 cm.
- aa) **Saggio Pac T13:** Trave B14-B7 Struttura “B” impalcato a quota 5,10 m avente dimensioni di 30\*60 cm (trave di copertura) in prossimità della mezzeria:
- Sul lato di cm 60 (altezza della trave) riscontrate due barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm: una in corrispondenza del lato inferiore della trave e l'altra a circa metà altezza (la presenza del solaio non consente di riscontrare l'armatura longitudinale superiore);
  - Sul lato di cm 30 riscontrate due barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm;
  - Sulle facce della trave sono state riscontrate staffe del diametro di 8 mm poste ad interasse medio di 22 cm.
- ab) **Saggio Pac P14:** Pilastro B10 Struttura “B” impalcato a quota 0,00 m avente dimensioni di 30\*50 cm all'altezza di circa 1,0 m dalla quota impalcato:
- Sul lato di cm 50 (faccia esterna del pilastro) riscontrate due barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm;
  - Sulla faccia del pilastro sono state riscontrate staffe del diametro di 8 mm poste ad interasse medio di 20 cm.
- ac) **Saggio Pac T14:** Trave B10-B5 Struttura “B” impalcato a quota 5,10 m avente dimensioni di 50\*25 cm (trave a spessore in copertura) in prossimità della mezzeria:
- Sul lato di cm 50 (larghezza della trave) riscontrate quattro barre di armatura longitudinale del diametro di 14 mm in corrispondenza del lato inferiore della trave (la presenza del solaio non consente di riscontrare l'armatura longitudinale superiore);
  - Sulla faccia inferiore della trave sono state riscontrate staffe del diametro di 8 mm poste ad interasse medio di 20 cm.

#### 4.3.1.2. Prove sclerometriche

Sono finalizzate alla determinazione della resistenza del calcestruzzo tramite misura della durezza superficiale, mediante valutazione del rimbalzo di una sfera metallica contenuta in apposito cilindro cavo. Come indicato dalle norme UNI, l'indice di rimbalzo deve essere valutato come la media sul numero di battute eseguite nella stessa area di misura (è sbagliato ripeterle sullo stesso identico punto fisico) la cui superficie sia stata opportunamente preparata (non abbia asperità). Le aree su cui si eseguono le battute sclerometriche devono risultare interne alle zone di solo calcestruzzo circoscritte dal reticolo delle armature individuate mediante misure pacometriche. Si dovrà evitare di eseguire misurazioni in corrispondenza di calcestruzzo distaccato o palesemente deteriorato. La valutazione della resistenza di porzioni di calcestruzzo deteriorato è ottenibile, quando possibile, solo mediante prelievo e successiva prova di compressione dei campioni.

L'utilizzo dello sclerometro, come strumento di prova non distruttivo, è regolato dalla norma UNI EN 12504 -2 [UNI 2001]. Su ogni faccia delle superfici di calcestruzzo indagate vanno eseguite almeno n° 9 misurazioni (o battute) non sovrapposte (generalmente se ne eseguono 10) e distanti non meno di 25 mm tra loro o dal bordo di eventuali difetti superficiali presenti e da ferri d'armatura, preventivamente localizzati. Il risultato della prova è fornito in termini di indice di rimbalzo medio  $I_r$  ed è riportato per ogni punto di indagine. Se, per ciascun punto, oltre il 20% di tutte le misure si discosta dalla media per più di 6 unità, deve essere scartata l'intera serie di misure.

L'indice di rimbalzo dovrà essere valutato eseguendo la misura con lo sclerometro in posizione

orizzontale. Qualora ciò non sia possibile, al fine di determinare l'equivalente indice di rimbalzo misurato in orizzontale, si deve far ricorso alle curve di ragguglio indicate dalla casa costruttrice dello strumento. Si evidenzia, inoltre, che in presenza di calcestruzzi molto carbonatati la durezza superficiale può risultare più alta di quella comunemente misurata e, pertanto, è opportuno ridurre il valore di riferimento medio dell'indice di rimbalzo  $I_r$ , tramite un opportuno coefficiente.

Un'indicazione dei valori entro cui è compreso il coefficiente può essere: 0.95 (per profondità di carbonatazione comprese tra i 50 e 60mm) - 0.90 (per profondità maggiori o uguali ai 60 mm).

Preliminarmente a qualsiasi lettura, è opportuno azionare almeno tre volte lo strumento per accertarne il corretto funzionamento.

#### **4.3.1.2.1. Esecuzione delle prove sclerometriche**

Le indagini sclerometriche sono state eseguite dal sottoscritto utilizzando uno sclerometro PASI Tipo N Serie n° N0660 munito di certificato di taratura del 19.07.2019;

Innanzitutto vengono eseguite delle prove sugli elementi strutturali da cui verranno estratte le carote di calcestruzzo in modo da poter confrontare i risultati.

Tali prove sono state eseguite nei seguenti punti:

- a) **Saggio Scl P1:** Pilastro A17 Struttura "A" impalcato a quota 3,45 m avente dimensioni di 50\*30 cm (pilastro d'angolo) all'altezza di 1 m circa dalla quota impalcato eseguendo le battute con strumento in orizzontale; il valore medio dell'indice di rimbalzo  $I_r$  è risultato di 34,2 a cui corrisponde una resistenza a compressione di 305 kg/cmq; per tenere conto della carbonatazione, che è risultata maggiore di 60 mm, la resistenza a compressione viene ridotta moltiplicandone il valore per il coefficiente 0,90; pertanto il valore della resistenza a compressione ottenuto risulta pari a 274,5 kg/cmq corrispondente a 27,5 N/mm<sup>2</sup>. Si evidenzia che in prossimità dell'area indagata è stato effettuato il prelievo di una carota (P1) che, come si dirà in seguito, ha fornito una "resistenza strutturale  $R_{c.is}$ " media di 26,5 N/mm<sup>2</sup>.
- b) **Saggio Scl P2:** Pilastro B11 Struttura "B" impalcato a quota 0,00 m avente dimensioni di 50\*30 cm (pilastro d'angolo) all'altezza di 1 m circa dalla quota impalcato eseguendo le battute con strumento in orizzontale; il valore medio dell'indice di rimbalzo  $I_r$  è risultato di 33,9 a cui corrisponde una resistenza a compressione di 300 kg/cmq; per tenere conto della carbonatazione, che è risultata pari a 30 mm, la resistenza a compressione viene ridotta moltiplicandone il valore per il coefficiente 0,95; pertanto il valore della resistenza a compressione ottenuto risulta pari a 295,0 kg/cmq corrispondente a 29,5 N/mm<sup>2</sup>. Si evidenzia che in prossimità dell'area indagata è stato effettuato il prelievo di una carota (P2) che, come si dirà in seguito, ha fornito una "resistenza strutturale  $R_{c.is}$ " media di 27,5 N/mm<sup>2</sup>.
- c) **Saggio Scl T2 Ft S11:** Trave A20-A21 Struttura "A" impalcato a quota 8,20-9,35 m avente dimensioni di 30\*50 cm (trave di copertura) eseguendo le battute con strumento in orizzontale; il valore medio dell'indice di rimbalzo  $I_r$  è risultato di 32,5 a cui corrisponde una resistenza a compressione di 280 kg/cmq a cui non si applica alcuna riduzione in quanto la carbonatazione è risultata inferiore a 0,3 cm; pertanto il valore della resistenza a compressione ottenuto risulta pari a 280,0 kg/cmq corrispondente a 28,0 N/mm<sup>2</sup>; Si evidenzia che in prossimità dell'area indagata è stato effettuato il prelievo di una carota (T1) che, come si dirà in seguito, ha fornito una "resistenza strutturale  $R_{c.is}$ " media di 24,9 N/mm<sup>2</sup>.



**In aggiunta alle superiori prove vengono eseguite ulteriori prove sclerometriche nei seguenti punti:**

- d) **Saggio Scl T1 Ft S2:** Trave B14-B15 Struttura "B" impalcato a quota 5,10 m avente dimensioni di 30\*50 cm (trave di copertura) in prossimità della mezzeria eseguendo le battute con strumento in orizzontale; il valore medio dell'indice di rimbalzo Ir è risultato di 33,5 a cui corrisponde una resistenza a compressione di 295 kg/cm<sup>2</sup>; per tenere conto della carbonatazione la resistenza a compressione viene ridotta moltiplicandone il valore per il coefficiente 0,90; pertanto il valore della resistenza a compressione ottenuto risulta pari a 265,5 kg/cm<sup>2</sup> corrispondente a 26,5 N/mm<sup>2</sup>;
- e) **Saggio Scl P3 Ft S3:** Pilastro B15 Struttura "B" impalcato a quota 0,00 m avente dimensioni di 50\*30 cm all'altezza di 1 m circa dalla quota impalcato eseguendo le battute con strumento in orizzontale; il valore medio dell'indice di rimbalzo Ir è risultato di 32,9 a cui corrisponde una resistenza a compressione di 285 kg/cm<sup>2</sup>; per tenere conto della carbonatazione la resistenza a compressione viene ridotta moltiplicandone il valore per il coefficiente 0,90; pertanto il valore della resistenza a compressione ottenuto risulta pari a 256,5 kg/cm<sup>2</sup> corrispondente a 25,6 N/mm<sup>2</sup>;
- f) **Saggio Scl P4 Ft S5:** Pilastro B4 Struttura "B" impalcato a quota 0,00 m avente dimensioni di 50\*30 cm all'altezza di 1 m circa dalla quota impalcato eseguendo le battute con strumento in orizzontale; il valore medio dell'indice di rimbalzo Ir è risultato di 33,3 a cui corrisponde una resistenza a compressione di 293 kg/cm<sup>2</sup>; per tenere conto della carbonatazione la resistenza a compressione viene ridotta moltiplicandone il valore per il coefficiente 0,90; pertanto il valore della resistenza a compressione ottenuto risulta pari a 263,7 kg/cm<sup>2</sup> corrispondente a 26,4 N/mm<sup>2</sup>;
- g) **Saggio Scl P5 Ft S6:** Pilastro A13 Struttura "A" impalcato a quota 0,00 m avente dimensioni di 55\*30 cm all'altezza di 1,3 m circa dalla quota impalcato eseguendo le battute con strumento in orizzontale; il valore medio dell'indice di rimbalzo Ir è risultato di 34,1 a cui corrisponde una resistenza a compressione di 302 kg/cm<sup>2</sup>; per tenere conto della carbonatazione la resistenza a compressione viene ridotta moltiplicandone il valore per il coefficiente 0,90; pertanto il valore della resistenza a compressione ottenuto risulta pari a 271,8 kg/cm<sup>2</sup> corrispondente a 27,2 N/mm<sup>2</sup>;
- h) **Saggio Scl P6 Ft S7:** Pilastro A3 Struttura "A" impalcato a quota 0,00 m avente dimensioni di 55\*30 cm all'altezza di 0,5 m circa dalla quota impalcato eseguendo le battute con strumento in orizzontale; il valore medio dell'indice di rimbalzo Ir è risultato di 33,7 a cui corrisponde una resistenza a compressione di 297 kg/cm<sup>2</sup>; per tenere conto della carbonatazione la resistenza a compressione viene ridotta moltiplicandone il valore per il coefficiente 0,90; pertanto il valore della resistenza a compressione ottenuto risulta pari a 267,3 kg/cm<sup>2</sup> corrispondente a 26,7 N/mm<sup>2</sup>;
- i) **Saggio Scl P7 Ft S8:** Pilastro A1 Struttura "A" impalcato a quota 0,00 m avente dimensioni di 55\*30 cm all'altezza di 0,5 m circa dalla quota impalcato eseguendo le battute con strumento in orizzontale; il valore medio dell'indice di rimbalzo Ir è risultato di 33,9 a cui corrisponde una resistenza a compressione di 300 kg/cm<sup>2</sup>; per tenere conto della carbonatazione la resistenza a compressione viene ridotta moltiplicandone il valore per il coefficiente 0,90; pertanto il valore della resistenza a compressione ottenuto risulta pari a 270 kg/cm<sup>2</sup> corrispondente a 27,0 N/mm<sup>2</sup>;
- j) **Saggio Scl P8:** Pilastro A10 Struttura "A" impalcato a quota 0,00 m avente dimensioni di 60\*40 cm all'altezza di 1,1 m circa dalla quota impalcato eseguendo le battute con strumento in orizzontale; il valore medio dell'indice di rimbalzo Ir è risultato di 34,0 a cui corrisponde una resistenza a compressione di 300 kg/cm<sup>2</sup>; per tenere conto della carbonatazione la resistenza a

compressione viene ridotta moltiplicandone il valore per il coefficiente 0,90; pertanto il valore della resistenza a compressione ottenuto risulta pari a 270 kg/cm<sup>2</sup> corrispondente a 27,0 N/mm<sup>2</sup>;

- k) **Saggio Scl P9:** Pilastro A12 Struttura "A" impalcato a quota 0,00 m avente dimensioni di 55\*30 cm all'altezza di 1,0 m circa dalla quota impalcato eseguendo le battute con strumento in orizzontale; il valore medio dell'indice di rimbalzo Ir è risultato di 33,2 a cui corrisponde una resistenza a compressione di 288 kg/cm<sup>2</sup>; per tenere conto della carbonatazione la resistenza a compressione viene ridotta moltiplicandone il valore per il coefficiente 0,90; pertanto il valore della resistenza a compressione ottenuto risulta pari a 259,2 kg/cm<sup>2</sup> corrispondente a 25,9 N/mm<sup>2</sup>;
- l) **Saggio Scl P10:** Pilastro B9 Struttura "B" impalcato a quota 0,00 m avente dimensioni di 50\*30 cm all'altezza di 1,0 m circa dalla quota impalcato eseguendo le battute con strumento in orizzontale; il valore medio dell'indice di rimbalzo Ir è risultato di 33,0 a cui corrisponde una resistenza a compressione di 284 kg/cm<sup>2</sup>; per tenere conto della carbonatazione la resistenza a compressione viene ridotta moltiplicandone il valore per il coefficiente 0,90; pertanto il valore della resistenza a compressione ottenuto risulta pari a 255,6 kg/cm<sup>2</sup> corrispondente a 25,6 N/mm<sup>2</sup>;
- m) **Saggio Scl P11:** Pilastro B13 Struttura "B" impalcato a quota 0,00 m avente dimensioni di 50\*30 cm all'altezza di 1,0 m circa dalla quota impalcato eseguendo le battute con strumento in orizzontale; il valore medio dell'indice di rimbalzo Ir è risultato di 33,6 a cui corrisponde una resistenza a compressione di 297 kg/cm<sup>2</sup>; per tenere conto della carbonatazione la resistenza a compressione viene ridotta moltiplicandone il valore per il coefficiente 0,90; pertanto il valore della resistenza a compressione ottenuto risulta pari a 267,3 kg/cm<sup>2</sup> corrispondente a 26,7 N/mm<sup>2</sup>;

### **4.3.2. Indagini distruttive**

#### **4.3.2.1. Prove di compressione su carote di calcestruzzo**

La valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera viene effettuata con riferimento all'aggiornamento delle Linee Guida per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito, positivamente licenziate con Parere dalla Prima Sezione del Consiglio Superiore dei LL.PP n. 80/2016 nella adunanza del 30 marzo 2017 e successivamente pubblicate con Decreto del Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 361 del 26 settembre 2017.

Le indagini, siano esse distruttive o non distruttive, necessitano di particolare cura affinché si pervenga ad una conoscenza delle caratteristiche reali dei materiali. Ciò vale in special modo per le prove distruttive effettuate su campioni di calcestruzzo ("carote") estratti dalla struttura mediante carotaggio. In particolare, sia la fase di estrazione del campione, sia quella di manipolazione e preparazione per la prova devono minimizzare il disturbo ad esso arrecato, onde evitarne un eccessivo danneggiamento che, riducendone la capacità resistente, rende la carota non rappresentativa del calcestruzzo da cui è stata prelevata. Tipicamente, nella prova di compressione dei campioni cilindrici, affinché il valore misurato non sia influenzato dall'effetto di confinamento delle piastre di carico della pressa, si preferisce realizzare provini con un rapporto tra altezza e diametro della base pari a due. I valori di resistenza a compressione così ottenuti ( $f_c$ ) possono poi essere ricondotti ai valori di resistenza dei campioni cubici ( $R_c$ ) dividendo per un coefficiente pari a 0,83. Laddove tali prove di compressione vengono eseguite su carote prelevate da elementi in calcestruzzo di strutture esistenti, si tende invece a sottoporre a prova campioni cilindrici con rapporto unitario tra altezza e diametro in modo da ottenere direttamente la resistenza cubica ( $R_c$ ). In tal senso, dopo aver prelevato una carota con rapporto tra

altezza e diametro della base almeno pari a due, è possibile effettuare su di essa un taglio in modo da ottenerne due carote con rapporto tra altezza e diametro pari ad uno. Sottoponendo poi a prova due campioni per ciascun prelievo si può così ottenere un valore medio per ogni punto indagato che consente di ridurre le incertezze inerenti le fasi di prova e di preparazione dei campioni.

Individuato il reticolo delle armature mediante il pacometro, il prelievo dovrà avvenire nei campi privi di armatura. Nel caso in cui le prove distruttive sono integrate con prove non distruttive sarà opportuno eseguire i carotaggi in corrispondenza dei punti in cui sono state eseguite alcune delle prove sclerometriche, al fine di ricavare le corrette correlazioni con i risultati delle indagini non distruttive. Le operazioni di prelievo devono scongiurare l'inclusione di armature metalliche nelle carote per evitare:

- la significativa riduzione della capacità resistente dell'elemento strutturale su cui si effettua il prelievo;
- l'aggravio del disturbo al campione nelle fasi di prelievo determinato dall'incremento delle vibrazioni;
- l'alterazione dei valori della prova di compressione per la presenza della barra d'armatura.

Nel corso delle operazioni di prelievo delle carote è opportuno misurare anche la profondità di carbonatazione del calcestruzzo, così da valutare il potenziale grado di protezione alla corrosione delle barre di armatura. La misura della profondità di carbonatazione è regolata dalla norma UNI 9944. Essa avviene osservando il viraggio della fenoftaleina, che, in ambiente basico, ovvero in assenza di carbonatazione, si colora di rosso-violetto. Pertanto, spruzzando sulla superficie cilindrica del campione, immediatamente dopo l'estrazione, una soluzione di fenoftaleina all'1% in alcol etilico, è osservabile il calcestruzzo carbonatato come quella parte che non mostra una colorazione rosso-violetto.

#### **4.3.2.1.1. Esecuzione del prelievo delle carote di calcestruzzo**

I prelievi delle carote di calcestruzzo sono stati eseguiti dal Laboratorio Ufficiale R.T.A. con sede in via Unità d'Italia n° 62/f di Agrigento; alla presenza del sottoscritto si è proceduto alla estrazione delle carote dei seguenti elementi strutturali (rif. disegni di carpenteria):

- a) **Saggio Car P1:** Pilastro A17 Struttura "A" impalcato a quota 3,45 m avente dimensioni di 50\*30 cm (pilastro d'angolo) all'altezza di 1 m circa dalla quota impalcato;
- b) **Saggio Car P2:** Pilastro B11 Struttura "B" impalcato a quota 0,00 m avente dimensioni di 50\*30 cm (pilastro d'angolo) all'altezza di 1 m circa dalla quota impalcato;
- c) **Saggio Car T1:** Trave A20-A21 Struttura "A" impalcato a quota 8,20-9,35 m avente dimensioni di 30\*50 cm (trave di copertura) a circa 85 cm a partire dal pilastro "A20".

#### **4.3.2.1.2. Misura della profondità della carbonatazione delle carote di calcestruzzo**

Subito dopo l'estrazione sulle carote di calcestruzzo è stata eseguita la misura della profondità della carbonatazione riscontrando i seguenti valori:

- a) **Saggio Car P1:** Pilastro A17 Struttura "A" riscontrata una profondità di 7,5 cm;
- b) **Saggio Car P2:** Pilastro B11 Struttura "B" riscontrata una profondità di 3,0 cm;;
- c) **Saggio Car T1:** Trave A20-A21 Struttura "A" riscontrata una profondità inferiore a 0,5 cm;

#### **4.3.2.2. Prove di trazione su barre di armatura d'acciaio estratte dalla struttura**

Si tratta della classica prova di trazione su barre d'armatura, così come regolata dalle NTC2018.

Contrariamente al calcestruzzo, l'acciaio, essendo un prodotto industrializzato, possiede un'elevata stabilità di comportamento e le sue caratteristiche, all'epoca della realizzazione della struttura, sono accertate già presso lo stabilimento di produzione. Pertanto, soprattutto per le strutture recenti, quando ne è nota la provenienza e si dispone delle certificazioni, potrebbe risultare superfluo eseguire prelievi di barre d'armatura. In ogni caso appare opportuno limitarne il numero, data la notevole invasività dell'operazione e, per quanto detto, l'usuale buona costanza di caratteristiche dell'acciaio.

Lo spezzone di barra da prelevare deve avere una lunghezza pari a circa 450 mm, per poter essere sottoposto alla prova di rottura per trazione.

È importante che il prelievo venga effettuato su elementi poco sollecitati, e dunque preferibilmente nei sottotetti o nell'ultimo piano, ovviamente laddove si abbia certezza che il tipo di acciaio sia lo stesso in tutta la struttura. È inoltre preferibile che il prelievo sia effettuato dalle zone meno sollecitate a trazione. Particolare cura dovrà essere poi essere posta nel ripristinare la capacità resistente originaria dell'elemento strutturale, verificando la saldabilità delle barre in opera, adottando l'opportuno tipo di elettrodo ed effettuando la saldatura tra il nuovo spezzone e la barra esistente con cordoni d'angolo di adeguata lunghezza.

#### **4.3.2.2.1. Esecuzione del prelievo delle barre di acciaio**

I prelievi delle barre di acciaio sono stati eseguiti dal Laboratorio Ufficiale RTA con sede in via Unità d'Italia n° 62/f di Agrigento; alla presenza del sottoscritto si è proceduto alla estrazione delle barre dai seguenti elementi strutturali (rif. disegni di carpenteria):

- a) **Saggio Acc B1:** Trave di fondazione B9-B16 Struttura "A" impalcato a quota 0,00 m con prelievo di uno spezzone di 50 cm circa in prossimità della mezzeria della trave;
- b) **Saggio Acc B2:** Pilastro B9 Struttura "B" impalcato a quota 0,00 m (pilastro d'angolo) con prelievo di uno spezzone di 50 cm circa;
- c) **Saggio Acc B3:** Pilastro B9 Struttura "A" impalcato a quota 3,45 m (pilastro d'angolo) con prelievo di uno spezzone di 50 cm circa.

#### **4.3.3. Risultati delle prove di laboratorio**

Con lettera di richiesta di prove ufficiali il sottoscritto ing. Patrinostro Antonino ha inviato le carote di calcestruzzo e le barre di acciaio al Laboratorio Ufficiale RTA di via Unità d'Italia n° 62/f di Agrigento per l'esecuzione delle prove di compressione sui provini di calcestruzzo e di trazione delle barre di armatura.

La relazione sulle indagini strutturali eseguite rilasciata dal citato laboratorio contiene, tra l'altro, i seguenti certificati:

- Alleg. A: Certificato di prova a compressione su carote di calcestruzzo n° 19005 del 25/09/2019;
- Alleg. B: Rapporto di prova sulla Determinazione della profondità di carbonatazione n° 6933 del 25/09/2019;
- Alleg. C: Certificato di prova di resistenza a trazione su acciaio n° 19006 del 25/09/2019;
- Alleg. D: Rapporto di prova per il rilievo dell'armatura e del copriferro mediante indagine pacometrica n° 6934 del 25/09/2019;

Nel seguito si riportano le risultanze dei sopracitati certificati di prove.

#### 4.3.3.1. Valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera

Con riferimento alle linee guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera, licenziate positivamente con parere n. 80/2016 della Prima Sezione del Consiglio Superiore dei LL.PP. nella adunanza del 30 marzo 2017, si è proceduto alla interpretazione e relativa correzione dei valori di resistenza a compressione conseguiti dalle carote di calcestruzzo riportate nel certificato di prova n°19005 del 25/09/2019.

Si ritiene opportuno riportare, preliminarmente, un glossario contenente la terminologia che verrà utilizzata nel seguito.

$R_C$	Valore della resistenza misurata mediante prova di compressione su un cubetto prelevato all'atto del getto, confezionato secondo le indicazioni della UNI EN 12390 e maturato in condizioni standard (resistenza potenziale cubica)
$f_C$	Valore della resistenza misurata mediante prova di compressione su un cilindro standard ( $d=15$ cm; $h=30$ cm) prelevato all'atto del getto e maturato in condizioni standard (resistenza potenziale cilindrica)
$R_{ck}$	Valore caratteristico di $R_C$
$f_{ck}$	Valore caratteristico di $f_C$
$R_{C, is}$	Resistenza cubica stimata all'interno della struttura (resistenza strutturale cubica)
$f_{C, is}$	Resistenza cilindrica stimata all'interno della struttura (resistenza strutturale cilindrica)
$R_{ck, is}$	Valore caratteristico della $R_{C, is}$
$f_{ck, is}$	Valore caratteristico della $f_{C, is}$
$f_{carota} (h/d=2)$	Valore della resistenza misurata su una carota estratta dalla struttura avente $h/d=2$
$f_{carota} (h/d=1)$	Valore della resistenza misurata su una carota estratta dalla struttura avente $h/d=1$

##### 4.3.3.1.1. Stima della resistenza meccanica in situ mediante carotaggi

La resistenza determinata con i provini estratti per carotaggio  $R_{is}$  (che nel seguito si definisce resistenza strutturale) è generalmente inferiore a quella della resistenza determinata con i provini preparati nel corso della messa in opera del calcestruzzo, costipati e maturati in condizioni standard,  $R_C$  (che nel seguito si definisce resistenza potenziale). Fra i fattori che determinano tale differenza si possono citare, in termini di resistenza strutturale: le modalità di posa in opera e di compattazione, la maturazione (curing) e l'effetto del prelievo della carota. Il valore di compressione di una carota, infatti, è intuitivamente più debole del valore ottenuto dal suo equivalente provino (cilindrico o cubico, confezionato secondo UNI EN 12390-2) in quanto la superficie di carico della carota contiene frazioni di aggregato "tagliato" non interamente reagenti alla sollecitazione di carico e che contribuiscono, "per adesione", alla capacità di resistenza della carota e quindi in misura ridotta rispetto a quella di aggregati perfettamente inglobati nell'equivalente campione cilindrico. In mancanza di un'esperienza diretta è infatti accettabile assumere che, a parità di tempo di maturazione, la resistenza strutturale (in situ) sia comunque non inferiore a 0,85 volte la resistenza del calcestruzzo messo in opera, come si vedrà nel seguito. Il valore della resistenza ricavata dalle prove di compressione sui campioni ottenuti per carotaggio, da confrontare con il valore della resistenza caratteristica di progetto, deve essere

elaborato con molta prudenza, in ragione della notevole influenza che diversi fattori hanno sulle caratteristiche delle carote, quali la messa in opera del calcestruzzo indagato, le condizioni di maturazione (di cui già si è detto) e le modalità di prelievo delle stesse carote. La stima, e quindi il giudizio, della qualità del calcestruzzo in opera, formulata sulla scorta della resistenza determinata su carote prelevate, deve fare ricorso a correttivi per compensare il maggiore o minore effetto di confinamento, in funzione della snellezza del campione, applicato dalle piastre alle estremità del campione nella prova di compressione, ma soprattutto dell'effetto del disturbo causato dalle operazioni di prelievo: detensionamento del campione, annullamento del confinamento degli aggregati, deterioramento del legame all'interfaccia legante-aggregato dovuto alle azioni meccaniche di prelievo. Si può infatti affermare che la resistenza alla compressione, determinata su carota, è penalizzata dalla riduzione in quota parte del contributo proveniente dagli aggregati presenti sulla superficie laterale della carota. Tale effetto, a parità di diametro del provino, viene minimizzato per calcestruzzi di classe di resistenza elevata e si riduce al crescere della dimensione massima degli aggregati presenti. Questa riduzione di resistenza deve essere considerata nel calcolo della resistenza strutturale, tramite l'introduzione di un coefficiente moltiplicativo detto Fattore di disturbo  $F_d$ . Dall'esame della letteratura esistente sull'argomento si è riscontrato che il valore di  $F_d$  decresce all'aumentare della resistenza  $f_{carota}$  rilevata sulla specifica carota. Si suggerisce quindi di adottare i valori riportati nella Tabella seguente:

Tabella del fattore di disturbo in funzione della resistenza a compressione delle carote ( $h/d=1$ ;  $d=100$  mm)

$f_{carota}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	10	20	25	30	35	40
$F_d$	1.10	1.09	1.08	1.06	1.04	1.00

Per valori intermedi si effettua l'interpolazione lineare, mentre per valori di  $f_{carota}$  superiori a 40 N/mm<sup>2</sup> il valore di  $F_d$  resta pari a 1.

Tali coefficienti andranno applicati al singolo risultato della carota. Il valore caratteristico derivante dall'elaborazione di tutti i risultati corretti sarà poi confrontato con il limite di  $0,85 R_{ck}$  di progetto ovvero potenziale come più avanti precisato. La UNI EN 12504-1 prevede che, se la resistenza potenziale è espressa in valori cubici, l'eventuale determinazione della resistenza strutturale va effettuata su campioni ricavati da carote aventi rapporto  $h/d = 1$  (con tolleranza  $\pm 0,05$ ); se invece la resistenza potenziale è espressa in valori cilindrici, l'eventuale determinazione della resistenza strutturale va effettuata su campioni ricavati da carote aventi rapporto  $h/d = 2$  (con tolleranza  $\pm 0,05$ ).

Pertanto, il valore della resistenza strutturale di ciascuna carota si determina come segue:

$$f_{carota} * F_d = R_{c,is} \quad \text{nel caso di provini ottenuti da carote con rapporto } h/d=1$$

$$f_{carota} * F_d = f_{c,is} \quad \text{nel caso di provini ottenuti da carote con rapporto } h/d=2$$

Si definisce "resistenza strutturale" o "in sito" ( $R_{c,is}$  e  $f_{c,is}$ ) la resistenza del calcestruzzo in opera, misurata mediante il prelievo di una serie significativa di carote, e "resistenza potenziale" ( $R_c$  e  $f_c$ ) quella misurata sui campioni convenzionali (vedi Figura 1), correttamente confezionati e maturati, si

può assumere – secondo la letteratura tecnica-specialistica ed in mancanza di una sperimentazione specifica – che la resistenza strutturale sia non inferiore a 0,85 volte la resistenza potenziale del calcestruzzo messo in opera.

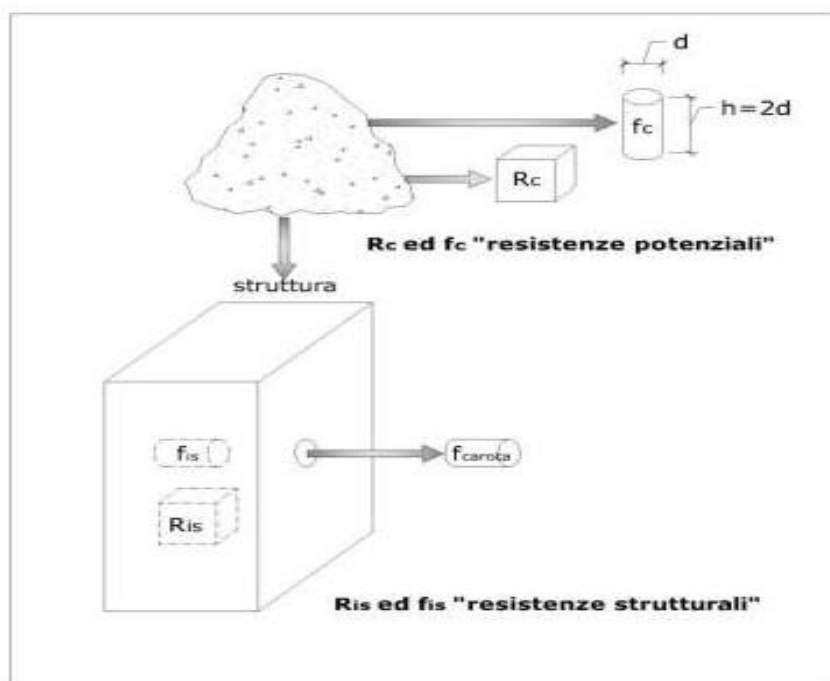


Figura 1 – Differenza concettuale tra resistenza potenziale e resistenza strutturale

In sintesi, in termini concettuali il confronto fra resistenza strutturale e resistenza potenziale risulta positivo se:  $R_{c,is} > 0,85 R_c$  oppure  $f_{c,is} > 0,85 f_c$

Sulla base di quanto sopra descritto, una volta determinato il valore della resistenza strutturale di ciascuna carota, si deve pervenire alla stima del valore della resistenza caratteristica strutturale in situ complessiva, che può essere direttamente confrontata con la resistenza caratteristica di progetto. In tal caso il criterio di conformità che deve essere applicato, come già detto, con riferimento a quanto contenuto nelle Norme tecniche per le costruzioni par.11.2.6 è rappresentato dalla disuguaglianza:

$$R_{ck,is} \geq 0,85 R_{ck} \quad \text{oppure} \quad f_{ck,is} > 0,85 f_{ck}$$

Per stimare la resistenza caratteristica in situ  $R_{ck,is}$  o  $f_{ck,is}$ , si può fare riferimento al procedimento contenuto nella norma EN 13791, in funzione della numerosità dei campioni prelevati ....(omissis).

Prescrizioni specifiche per la stima della resistenza in situ mediante carotaggi da utilizzare nella valutazione di costruzioni esistenti.

Nel caso di prove che vengano effettuate ai fini della valutazione della capacità di strutture esistenti, si ricorda che, ai sensi della Circolare n. 7/2019, “Ai fini delle prove sui materiali è consentito sostituire alcune prove distruttive, non più del 50%, con un più ampio numero, almeno il triplo, di prove non distruttive, singole o combinate, tarate su quelle distruttive”.

Nel caso di costruzioni esistenti, non si farà riferimento ai valori  $f_{ck}$  ed  $R_{ck}$ , bensì si calcoleranno i valori medi cilindrici  $f_m(n)_{is}$  o cubici  $R_m(n)_{is}$ , ai quali andranno applicati i “fattori di confidenza”

in base al livello di conoscenza conseguito nelle indagini conoscitive.

La tabella seguente riporta i valori medi della resistenza strutturale ( $R_{m, is}$ ) determinata come media della resistenza strutturale delle carote ( $R_{c, is}$ ) in base alla relazione valida per provini ottenuti da carote con rapporto  $h/d=1$ :  $f_{carota} * F_d = R_{c, is}$

Nr. Prova	Sigla	Localizzazione prelievo	Altezza [mm]	Diametro [mm]	$f_{carota}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$F_d$ (fattore disturbo interpolato)	$R_{c, is}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$R_{m, is}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	P1	Pilastro esterno spig. N-E	94	94	24,50	1,081	26,48	<b>26,30</b>
2	P2	Pilastro esterno spig. N-O	94	94	25,50	1,078	27,49	
3	T1	Trave di copertura	94	94	23,00	1,084	24,93	

I valori delle prove sclerometriche sono risultati perfettamente compatibili con il valore medio ottenuto dalle carote di cls.

Nei calcoli, pertanto, considerata la maggiore incertezza dei valori ottenuti dalle prove sclerometriche, si è adottato il valore  $R_{m, is}$  sopra determinato a cui va applicato il fattore di confidenza derivante dal livello di conoscenza raggiunto.

#### 4.3.3.2. Valutazione delle caratteristiche delle barre di acciaio

Le barre di armatura prelevate sono state sottoposte a prova presso il Laboratorio Ufficiale RTA di via Unità d'Italia n° 62/f di Agrigento che ha rilasciato il certificato di prova di resistenza a trazione su acciaio n° 19006 del 25/09/2019.

##### 4.3.3.2.1. Stima della tensione snervamento e di rottura delle barre di acciaio

Anche per le barre di acciaio sono stati determinati i valori medi della tensione di snervamento  $f_y$  (media) e della tensione di rottura  $f_t$  (media) così come previsto dalla normativa vigente.

La tabella seguente riporta i valori delle grandezze caratteristiche delle barre di acciaio desunti dal certificato di prova n° 19006 del 25/09/2019.



**Plesso C Scuola Primaria - Indagini sulle strutture e sui materiali**

Nr. Prova	Sigla	Diametro nominale Ø [mm]	Struttura interessata	Diametro effettivo Ø [mm]	Tensione di snervamento $f_y$ [N/mmq]	Tensione di rottura $f_t$ [N/mmq]	Agt [%]	$f_y / f_t$	$f_y / f_y \text{ nom}$
1	B1	12	Fondazione	12,18	401,7	561,5	22,28	1,40	0,89
2	B2	14	Intera struttura	13,48	383,8	543,0	21,27	1,41	0,85
3	B3	14	Intera struttura	13,56	387,3	548,8	21,32	1,42	0,86
<b>VALORI MEDI</b>					<b>390,9</b>	<b>551,1</b>	<b>21,6</b>	<b>1,41</b>	<b>0,87</b>

#### 4.4. Riepilogo

A completamento delle indagini sopra descritte si riporta di seguito la sintesi dei dati utilizzati per la modellazione della struttura e per l'effettuazione dei calcoli di verifica finalizzati alla valutazione del livello di sicurezza della struttura. A tale scopo è stato utilizzato il software strutturale CDSWin che, mediante il metodo "push-over", permette di applicare alla struttura delle forze orizzontali via via crescenti fino al raggiungimento del collasso. Si rimanda all'apposito elaborato per i risultati del calcolo.

Classificazione dell'Intervento:	<b>MIGLIORAMENTO</b>
Rilievo geometrico	<b>SI</b>
Verifiche in situ estese ed esaustive	<b>SI</b>
Indagini in situ estese sulle proprietà dei materiali	<b>SI</b>
Livello di conoscenza	<b>LC2</b>
Fattore di confidenza adottato	<b>Fc = 1,2</b>
Metodo di calcolo	<b>PUSHOVER (non lineare)</b>
Resistenza strutturale media del calcestruzzo per travi e pilastri in c.a. della struttura esistente	<b><math>(R_{m, is}) = 26,3 \text{ N/mm}^2</math></b>
Diametro delle barre di acciaio pilastri e travi in elevazione della struttura esistente	<b><math>\varnothing = 14 \text{ mm}</math></b>
Tensione di snervamento media delle barre di acciaio pilastri e travi in elevazione della struttura esistente ( $\varnothing = 14 \text{ mm}$ )	<b><math>f_y = 3838 \text{ N/mm}^2</math></b>
Diametro delle barre di acciaio travi di fondazione della struttura esistente	<b><math>\varnothing = 12 \text{ mm}</math></b>
Tensione di snervamento media delle barre di acciaio travi di fondazione della struttura esistente ( $\varnothing = 12 \text{ mm}$ )	<b><math>f_y = 4017 \text{ N/mm}^2</math></b>
Classe calcestruzzo per l'incamiciatura dei pilastri	<b>C30/37</b>
Classe acciaio per le nuove armature	<b>B450C</b>
Peso specifico terreno di fondazione	<b><math>\gamma = 1900 \text{ kg/m}^3</math></b>
Angolo di attrito terreno di fondazione	<b><math>\varphi' = 30^\circ</math></b>
Coesione terreno di fondazione	<b><math>C' = 0 \text{ kg/cm}^2</math></b>
Categoria di sottosuolo	<b>B</b>
Categoria topografica	<b>T2</b>

--	--

Di seguito si riportano due tabelle di sintesi delle principali caratteristiche della struttura del corpo “A” e della struttura del corpo “B” che compongono il plesso C – scuola elementare – dell’Istituto comprensivo A. Manzoni di Alessandria della Rocca:

**TABELLA STRUTTURA CORPO “A”**

Tipologia strutturale	A telaio in cemento armato
Superficie piano terra (a valle)	267 mq
Superficie piano terra (a monte)	406 mq
Altezza interpiano piano terra (a valle)	3,45 m
Altezza interpiano piano terra (a monte)	variabile da 4,75 a 5,90
Tipo di fondazione	Trave rovescia - plinti
Regolarità in pianta	Edificio non regolare in pianta
Regolarità in altezza	Edificio non regolare in altezza
Classe d' Uso	III Cu=1.5

**TABELLA STRUTTURA CORPO “B”**

Tipologia strutturale	A telaio in cemento armato
Superficie piano terra (a monte)	280 mq
Altezza interpiano piano terra (a monte)	variabile da 3,50 a 5,10
Tipo di fondazione	Trave rovescia
Regolarità in pianta	Edificio non regolare in pianta
Regolarità in altezza	Edificio regolare in altezza
Classe d' Uso	III Cu=1.5

Per quanto attiene il raggiungimento del **livello di conoscenza LC2** di cui alla Tabella C8.5.IV di seguito si riporta una tabella di sintesi delle caratteristiche e delle proprietà dei materiali come

verificate con le sopradescritte indagini

<b>Livello di Conoscenza</b>	<b>Geometria (carpenterie)</b>	<b>Dettagli strutturali</b>	<b>Proprietà dei materiali</b>
<b>LC2</b>	<i>Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo completo</i>	<i>Elaborati progettuali incompleti con indagini limitate in situ; in alternativa indagini estese in-situ</i>	<i>Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con prove limitate in-situ; in alternativa prove estese in-situ</i>
<b>Riscontro</b>	<b>Eseguito il rilievo completo ex-novo</b>	<b>Indagini estese in-situ</b>	<b>Prove estese in-situ</b>

Con riferimento alla tabella C8.5.V per il raggiungimento del livello esteso delle indagini si riporta nella seguente tabella la sintesi della quantità di rilievi dei dettagli costruttivi e di prove per la valutazione delle caratteristiche meccaniche dei materiali in relazione al livello di conoscenza prestabilito (LC2) da raggiungere,.

<b>Livello di indagini e prove</b>	<b>Rilievo (dei dettagli costruttivi) (a)</b>	<b>Prove (sui materiali) (b)(c)d)</b>
	<i>Per ogni tipo di elemento "primario" (trave, pilastro)</i>	
<i>esteso</i>	<i>La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 35% degli elementi</i>	<i>2 provini di cls. per 300 m<sup>2</sup> di piano dell'edificio, 2 campioni di armatura per piano dell'edificio</i>

### **Determinazione del numero di elementi primari (travi e pilastri)**

Premesso che per l'edificio in esame può essere esclusa la verifica del sistema fondazione (Rif. punto 8.3 delle NTC2018) in quanto non sono state riscontrate condizioni che possono dar luogo a fenomeni di instabilità globale né alcuna delle seguenti condizioni previste dalla vigente normativa:

- Presenza di importanti dissesti attribuibili a cedimenti delle fondazioni o dissesti della stessa natura che si siano prodotti nel passato;
- Fenomeni di ribaltamento e/o scorrimento della costruzione per effetto di condizioni morfologiche sfavorevoli, di modificazioni apportate al profilo del terreno in prossimità delle fondazioni, delle azioni sismiche di progetto;
- Fenomeni di liquefazione del terreno di fondazione dovuti alle azioni sismiche di progetto.

Pertanto gli elementi strutturali che costituiscono la fondazione dell'edificio sono stati esclusi dalla valutazione del livello di conoscenza.

Inoltre nella struttura in esame sono presenti evidenti condizioni di ripetitività per cui, come previsto dalla circolare n. 7 del 21/01/2019 del C.S.LL.PP., è stato possibile ridurre il numero di elementi da

## Plesso C Scuola Primaria - Indagini sulle strutture e sui materiali

indagare rispetto a quelli previsti nella tabella C8.5.V per il livello di conoscenza LC2; In relazione all'impegno statico delle diverse membrature e al loro ruolo riguardo alla sicurezza della struttura è stato determinato il numero totale di elementi primari su cui calcolare la percentuale del 35% da sottoporre ad indagine:

Struttura	Pilastrini	Travi	n° elementi primari
A	25	31	56
B	10	16	26
Totale A+B	35	47	<b>82</b>

Sul totale di 82 elementi primari (35+47) sono state effettuate n° 31 prove pacometriche integrate da saggi a campione con rimozione di intonaco e copriferro sia nei pilastri che nelle travi per mettere a nudo le armature metalliche e riscontrarne lo stato di ossidazione e il diametro; la percentuale di elementi primari indagata risulta pari al 38% e cioè maggiore del 35% previsto dalla norma.

### **Determinazione del numero di provini di cls**

Il numero di provini di cls indicato nella tabella C8.5.V può variare, in aumento o in diminuzione, in relazione alle caratteristiche di omogeneità del materiale. Nel caso in specie i valori riscontrati con le prove sclerometriche hanno consentito di accertare che il calcestruzzo in opera presenta caratteristiche tipiche derivanti dal processo produttivo dell'epoca della costruzione del manufatto e presentano valori abbastanza omogenei.

Pertanto si determina in 6 provini di cls (2 per il piano terra a valle e 4 per il piano terra a monte) il numero di prove necessarie per il controllo del calcestruzzo in opera.

La norma, altresì, consente di sostituire alcune prove distruttive, fino al 50%, con almeno il triplo di prove non distruttive, singole o combinate, tarate su quelle distruttive; pertanto sono state estratte n° 3 carote di cls, con prelievo effettuato dal laboratorio R.T.A. di Agrigento, che sono state sottoposte a prova di compressione e determinazione della profondità di carbonatazione. Le risultanze di tali indagini sono riportate nel certificato n. 19005 del 25/09/2019 e nel rapporto n.6933 del 25/09/2019 allegati alla "Relazione sulle indagini strutturali" rilasciata dal citato Laboratorio R.T.A. s.r.l..

In sostituzione delle 3 prove distruttive sul cls sono state effettuati 10 prove sclerometriche su travi e pilastri in aggiunta alle 3 prove effettuate sugli elementi strutturali da cui sono state estratte le carote da sottoporre a prova; in definitiva sono state effettuate 13 prove sclerometriche che hanno consentito di accertare una discreta correlazione dei risultati della resistenza a compressione del cls determinata sulle carote e quella riscontrata sugli stessi elementi strutturali; inoltre i risultati delle prove sclerometriche hanno consentito di accertare dei valori di resistenza del cls abbastanza omogenei che rispecchiano le caratteristiche del processo produttivo del cls all'epoca della realizzazione dell'edificio.

### **Determinazione del numero di provini di acciaio**

## Plesso C Scuola Primaria - Indagini sulle strutture e sui materiali

Il numero di campioni di armatura indicato nella tabella C8.5.V è finalizzato all'identificazione della classe dell'acciaio utilizzata con riferimento alla normativa vigente all'epoca di costruzione. Ai fini del raggiungimento del numero di prove sull'acciaio, necessario per acquisire il livello di conoscenza desiderato, è opportuno tener conto dei diametri di più diffuso impiego negli elementi principali delle strutture in c.a., con esclusione delle staffe.

Nel caso in specie le prove pacometriche, integrate dai saggi con rimozione di intonaco e copriferro effettuate sia nei pilastri che nelle travi per mettere a nudo le armature metalliche, hanno consentito di accertare sia i diametri delle barre utilizzate che il tipo di acciaio impiegato.

Si è infatti riscontrato che per le strutture in elevazione (travi e pilastri) sono state impiegate barre di acciaio liscio del diametro di 14 mm che costituiscono le armature tipiche del periodo.

Al fine di determinare le caratteristiche meccaniche degli acciai impiegati si è ritenuto sufficiente effettuare l'estrazione di n° 3 spezzoni di barre di acciaio, con prelievo effettuato dal laboratorio R.T.A. di Agrigento, che sono state sottoposte a prova di trazione. Le risultanze di tali prove sono riportate nel certificato n. 19006 del 25/09/2019 allegato alla "Relazione sulle indagini strutturali" rilasciata dal citato Laboratorio R.T.A. s.r.l..

IL TECNICO