

# LIBERO CONSORZIO COMUNALE DI RAGUSA

IV SETTORE - LAVORI PUBBLICI ED INFRASTRUTTURE

## INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA DEGLI EDIFICI SCOLASTICI DI PROPRIETÀ DEL LIBERO CONSORZIO COMUNALE DI RAGUSA LOTTO 3 - CIG 9165541BB2

**ADEGUAMENTI SISMICO DELL'I.I.S. G. CURCIO IN VIA DEGLI STUDI - ISPICA (RG)**  
**Finanziato dall'Unione Europea - NextGenerationEU**

### RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI PROFESSIONISTI

**CAPOGRUPPO**

Ing. Luciano Lentini

**R.U.P.** Ing. Filippo Agosta

**MANDANTI**

Arch. Giuseppe Marotta  
SG.Inarch srls  
Ing. Antonino Carmelo Allegra Filosico  
Arch. Francesca Cuva



**RELAZIONE SUI MATERIALI**

**PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO**

DATA EMISSIONE

**SETTEMBRE 2022**

SCALA

-

DOCUMENTO

S	T	R	0	0	4
---	---	---	---	---	---

## 1 Premessa

La presente relazione tratta gli aspetti relativi ai materiali da costruzione esistenti e quelli relativi agli interventi di rinforzo previsti nell'ambito del servizio tecnico di *"Adeguamento sismico dell'I.I.S. G. Curcio sito in Ispica (RG) Via Degli Studi - Lotto n. 3 (CIG 9165541BB2)"*, aggiudicato allo scrivente RTP con determinazione dirigenziale prot. n. 12612 del 22/06/2022.

In particolare nella presente relazione si è fatto riferimento nella prima parte alle modalità secondo le quali sono state determinate le caratteristiche e lo stato dei materiali esistenti (calcestruzzo e acciaio in barre), mentre nella seconda parte vengono trattati i materiali da costruzione previsti per gli interventi di rinforzo.

## 2 Livelli di conoscenza e fattori di confidenza: la conoscenza della struttura e le indagini diagnostiche

### 2.1 Introduzione

Come correttamente e condivisibilmente rilevano i professionisti che si sono occupati della verifica sismica preventiva, *"nelle costruzioni esistenti è cruciale la conoscenza della struttura (geometria e dettagli costruttivi) e dei materiali (calcestruzzo, acciaio, mattoni, malta). E' per tale ragione che viene introdotta un'altra categoria di fattori: i "fattori di confidenza", strettamente legati al livello di conoscenza conseguito nelle indagini conoscitive, e che riducono, preliminarmente, i valori medi di resistenza dei materiali della struttura esistente, per ricavare i valori da adottare, nel progetto o nella verifica, e da ulteriormente ridurre, quando previsto, mediante i coefficienti parziali di sicurezza."*

Effettivamente, nel caso specifico, abbiamo a che fare con edifici coevi sia per tecniche costruttive ma anche per normativa di riferimento e tipologia di armatura adottata.

### 2.2 Livelli di conoscenza struttura in cemento armato

Oggi le Norme tecniche per le Costruzioni (NTC 2018) prevede 3 livelli di conoscenza:

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

Gli aspetti principali che definiscono i livelli di conoscenza sono:

- geometria, ossia le caratteristiche geometriche degli elementi strutturali;
- dettagli strutturali, ossia la quantità e disposizione delle armature, compreso il passo delle staffe e la loro chiusura;
- materiali, ossia le proprietà meccaniche dei materiali.

Nella tabella normativa riportata di seguito (Tabella C8.5.IV), vengono illustrate le relazioni tra livelli di conoscenza, metodi di analisi e fattori di confidenza.

Livello di conoscenza	Geometrie (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC (*)
LC1	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione; in alternativa rilievo completo ex-novo	Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>indagini limitate</i> in situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>prove limitate</i> in situ	Analisi lineare statica o dinamica	1,35
LC2		Elaborati progettuali incompleti con <i>indagini limitate</i> in situ; in alternativa <i>indagini estese</i> in situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali, con <i>prove limitate</i> in situ; in alternativa da <i>prove estese</i> in situ	Tutti	1,20
LC3		Elaborati progettuali completi con <i>indagini limitate</i> in situ; in alternativa <i>indagini esaustive</i> in situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto, con <i>prove estese</i> in situ; in alternativa da <i>prove esaustive</i> in situ	Tutti	1,00

(\*) A meno delle ulteriori precisazioni già 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 è **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 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 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 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 esaustiva** 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 e ai certificati originali di prova, integrati da **prove limitate** in situ (se i valori ottenuti dalle prove in situ sono minori dei corrispondenti valori indicati nei certificati originali di prova, si eseguono **prove esaustive** in situ), o con **prove esaustive** in situ (con riferimento al § C8.5.3); il corrispondente fattore di confidenza è **FC=1**. 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.

Livello di Indagini e Prove	Rilievo (dei dettagli costruttivi) <sup>(a)</sup>	Prove (sui materiali) <sup>(b)(c)(d)</sup>
	Per ogni elemento "primario" (trave, pilastro)	
<i>limitato</i>	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
<i>esteso</i>	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
<i>esaustivo</i>	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

Tra le note esplicative riportate in calce alla tabella C8.5.V si legge specificatamente quanto segue:

*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 è 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 esser 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.*

### **3 Caratterizzazione meccanica dei materiali**

#### **3.1 Stato di conservazione degli elementi strutturali esistenti**

Nel corso dell'esecuzione del servizio, i sottoscritti professionisti si sono occupati di accertare lo stato di conservazione delle strutture in oggetto al fine di valutare se, rispetto alle criticità rilevate dal precedente gruppo di professionisti in fase di verifica sismica preventiva, abbiano in qualche modo subito evoluzioni.

Un'attenta ispezione visiva ha consentito di rilevare una situazione sostanzialmente invariata, dunque possono confermarsi le criticità già rilevate nello studio di vulnerabilità sismica preventiva.

#### **3.2 Prove sui calcestruzzi**

Nel corso del servizio di verifica sismica preventiva, e nello specifico nel corso delle indagini strutturali, risulta che sono stati estratti **n. 19 campioni** cilindrici di calcestruzzo indurito.

Sui campioni di calcestruzzo estratti sono state eseguite prove a compressione presso il Laboratorio Geoservice s.r.l. di Favara. I risultati delle prove di laboratorio sono riportati nei certificati di prova n. 620/20-a e 620/20-b del 16-11-2020 e sono allegati in appendice alla relazione sulle indagini (anch'essa allegata al presente progetto).

### 3.3 Risultati prove di compressione calcestruzzi in opera

Si riportano di seguito i risultati ottenuti relativamente alle prove eseguite sui conglomerati cementizi in opera per il Corpo A:

Risultati prove di schiacciamento provini cilindrici (Linee Guida Settembre 2017) - numero carotaggi tra 4 e 14							
Provino	Ubicazione	Diametro provino [mm]	Lunghezza provino [mm]	Rapporto h/d	R <sub>c</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	Fd	R <sub>c, is</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
C1	Pilastro quota 0,00	94,0	94,2	1	11,55	1,13	13,10
C2	Pilastro quota 0,00	94,0	94,3	1	11,18	1,14	12,69
C3	Trave quota 0,00	94,0	94,4	1	14,64	1,12	16,42
C4	Trave quota 0,00	94,0	94,3	1	14,63	1,12	16,41

Si richiama invece di seguito il calcolo della resistenza a compressione cubica caratteristica e media determinate a partire dai risultati di laboratorio ottenuti secondo le indicazioni contenute nelle “LINEE GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEL CALCESTRUZZO IN OPERA” versione Settembre 2017, documento licenziato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

CORPO A							
Risultati prove di schiacciamento provini cilindrici (Linee Guida Settembre 2017) - numero carotaggi tra 4 e 14							
Provino	Ubicazione	Diametro provino [mm]	Lunghezza provino [mm]	Rapporto h/d	R <sub>c</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	Fd	R <sub>c, is</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
C1	Pilastro quota 0,00	94,0	94,2	1	11,55	1,13	13,10
C2	Pilastro quota 0,00	94,0	94,3	1	11,18	1,14	12,69
C3	Trave quota 0,00	94,0	94,4	1	14,64	1,12	16,42
C4	Trave quota 0,00	94,0	94,3	1	14,63	1,12	16,41
						<b>14,65</b>	f <sub>m(n), is</sub>
						<b>12,69</b>	f <sub>is, lowest</sub>

la resistenza cilindrica (cubica) caratteristica in sito  $f_{ck, is}$  ( $R_{ck, is}$ ) è il valore inferiore tra:

$$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - k$$

$$f_{ck, is} = f_{is, lowest} + 4$$

dove:

k = 5 per n (numerosità dei campioni prelevati) compreso tra 10 e 14

k = 6 per n compreso tra 7 e 9

k = 7 per n compreso tra 4 e 6 (caso da prendere in considerazione solo per opere di particolare semplicità).

$$k = 7$$

$$f_{ck, is} = 7,65 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ck, is} = 16,69 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{ck, is} = 7,65 \text{ N/mm}^2$$

$$R_m = 14,65 \text{ N/mm}^2$$

Come si evince dai risultati del calcolo si è ottenuto un valore di resistenza a compressione caratteristica pari a **7,65 N/mm<sup>2</sup>** e un valore di resistenza a compressione medio pari a **14,65 N/mm<sup>2</sup>**.

Si riportano di seguito i risultati ottenuti relativamente alle prove eseguite sui conglomerati cementizi in opera per i Corpi B + C:

CORPO B+C							
Risultati prove di schiacciamento provini cilindrici (Linee Guida Settembre 2017) - numero carotaggi tra maggiore o eguale a 15							
Provino	Ubicazione	Diametro provino [mm]	Lunghezza provino [mm]	Rapporto h/d	R <sub>c</sub> [Mpa]	Fd	R <sub>c, is</sub> [Mpa]
C5	<i>Pilastro quota m-2,50</i>	94,0	94,5	1	10,70	1,14	12,17
C6	<i>Trave quota m-2,50</i>	94,0	94,4	1	12,16	1,13	13,76
C7	<i>Trave quota m-6,50</i>	94,0	94,1	1	14,72	1,12	16,50
C8	<i>Trave quota m-6,50</i>	94,0	94,3	1	13,51	1,13	15,21
C9	<i>Trave quota m-6,50</i>	94,0	94,5	1	16,16	1,12	18,02
C10	<i>Pilastro quota m-2,50</i>	94,0	94,3	1	10,36	1,14	11,80
C11	<i>Trave quota m-2,50</i>	94,0	94,5	1	13,65	1,13	15,36
C12	<i>Pilastro quota m-2,50</i>	94,0	94,4	1	12,23	1,13	13,83
C13	<i>Pilastro quota m-2,50</i>	94,0	94,5	1	13,42	1,13	15,12
C14	<i>Pilastro quota m-6,50</i>	94,0	94,1	1	11,30	1,13	12,82
C15	<i>Trave quota m-6,50</i>	94,0	94,3	1	15,47	1,12	17,30
C16	<i>Trave quota m-6,50</i>	94,0	94,2	1	11,12	1,14	12,63
C17	<i>Pilastro quota m-6,50</i>	94,0	94,1	1	15,33	1,12	17,15
C18	<i>Trave quota m-6,50</i>	94,0	94,1	1	15,09	1,12	16,90
C19	<i>Pilastro quota m-6,50</i>	94,0	94,4	1	13,17	1,13	14,85

Nella tabella sottostante si riporta il calcolo della resistenza a compressione cubica caratteristica e media determinate a partire dai risultati di laboratorio ottenuti secondo le indicazioni contenute nelle “*LINEE GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEL CALCESTRUZZO IN OPERA*” versione Settembre 2017, documento licenziato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

CORPO B+C							
Risultati prove di schiacciamento provini cilindrici (Linee Guida Settembre 2017) - numero carotaggi tra maggiore o eguale a 15							
Provino	Ubicazione	Diametro provino [mm]	Lunghezza provino [mm]	Rapporto h/d	R <sub>c</sub> [Mpa]	Fd	R <sub>ck, is</sub> [Mpa]
C5	Pilastro quota m-2,50	94,0	94,5	1	10,70	1,14	12,17
C6	Trave quota m-2,50	94,0	94,4	1	12,16	1,13	13,76
C7	Trave quota m-6,50	94,0	94,1	1	14,72	1,12	16,50
C8	Trave quota m-6,50	94,0	94,3	1	13,51	1,13	15,21
C9	Trave quota m-6,50	94,0	94,5	1	16,16	1,12	18,02
C10	Pilastro quota m-2,50	94,0	94,3	1	10,36	1,14	11,80
C11	Trave quota m-2,50	94,0	94,5	1	13,65	1,13	15,36
C12	Pilastro quota m-2,50	94,0	94,4	1	12,23	1,13	13,83
C13	Pilastro quota m-2,50	94,0	94,5	1	13,42	1,13	15,12
C14	Pilastro quota m-6,50	94,0	94,1	1	11,30	1,13	12,82
C15	Trave quota m-6,50	94,0	94,3	1	15,47	1,12	17,30
C16	Trave quota m-6,50	94,0	94,2	1	11,12	1,14	12,63
C17	Pilastro quota m-6,50	94,0	94,1	1	15,33	1,12	17,15
C18	Trave quota m-6,50	94,0	94,1	1	15,09	1,12	16,90
C19	Pilastro quota m-6,50	94,0	94,4	1	13,17	1,13	14,85
							<b>14,89</b>
							<b>11,80</b>
							<b>1,94</b>
							<i>f<sub>m(n), is</sub></i>
							<i>f<sub>is, lowest</sub></i>
							s

la resistenza cilindrica (cubica) caratteristica in sito  $f_{ck, is}$  ( $R_{ck, is}$ ) è il valore inferiore tra:

$$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - 1.48 * s$$

$$f_{ck, is} = f_{is, lowest} + 4$$

dove:

n = numero di campioni prelevati

$f_{m(n), is}$  = valore medio della resistenza a compressione degli n campioni (rammentando che per ciascun campione (i), la resistenza  $f_{(i)}$  deve essere moltiplicata per il relativo Fattore di disturbo  $F_{d(i)}$ )

$f_{is, lowest}$  = valore minore fra le resistenze degli n campioni

s = scarto quadratico medio

$$f_{ck, is} = 12,02 \text{ Mpa}$$

$$f_{ck, is} = 15,80 \text{ Mpa}$$

$$R_{ck, is} = 12,02 \text{ Mpa}$$

$$R_m = 14,89 \text{ Mpa}$$

Come si evince dai risultati del calcolo si ottiene il valore di resistenza a compressione caratteristica pari a **12,02 N/mm<sup>2</sup>** e il valore di resistenza a compressione medio pari a **14,89 N/mm<sup>2</sup>**.



### 3.4 Prove sulle armature metalliche

Nel corso della campagna di indagini eseguita nell'ambito del servizio di verifica sismica preventiva, sono stati eseguiti un totale di **n.4 estrazioni di campioni di armatura metallica** in corrispondenza di travi e pilastri (n. 1 campione estratto dal Corpo A e n. 3 campioni estratti dai Corpi B e C).

Da ciascun campione metallico prelevato è stato ricavato un provino da sottoporre a prova di trazione secondo la UNI ISO 15630/1, UNI EN ISO 6892-1 e UNI EN ISO 7438. I risultati delle prove di laboratorio sono riportati nel certificato di prova n. 620/20-b del 16-11-2020 e sono allegati in appendice alla relazione sulle indagini (anch'essa allegata al presente progetto).

Nella tabella seguente, vengono illustrati i risultati delle prove di trazione condotte sul campione estratto dal Corpo A.

Sigla	Posizione in opera	Diametro provino (mm)	Data prova	Tipo di acciaio	Tensione di snervamento (N/mm <sup>2</sup> )	Tensione di rottura (N/mm <sup>2</sup> )	Ag (%)
A1	Pilastro quota 0,00	14	10-11-2020	liscio	317,46	444,93	29,7

Nella scheda di calcolo seguente, vengono illustrate invece le calcolazioni relative alla determinazione dei valori medi della tensione di snervamento e della tensione di rottura.

Le caratteristiche meccaniche dell'acciaio in opera, desunte dalle prove di laboratorio eseguite, consentono di identificare la tipologia di acciaio per il corpo A oggetto di verifica.

<b>Resistenza caratteristica a trazione acciaio in opera</b>				
Riferimento :		<b>Corpo A</b>		
	<b>RESISTENZA sperimentale</b>	<b>F<sub>y</sub></b>	<b>F<sub>t</sub></b>	<b>Certificato n.</b>
		<i>Mpa</i>	<i>Mpa</i>	
	valori medi:	<b>317,00</b>	<b>444,00</b>	
<b>1</b>	A1	<b>317,00</b>	<b>444,00</b>	620-20-b
Snervamento medio in opera Resistenza a rottura media		F <sub>y</sub> F <sub>t</sub>	<div style="display: inline-block; border: 1px solid black; padding: 2px 5px; background-color: #cccccc;"><b>317,00</b></div> N/mm <sup>2</sup> 444,00 N/mm <sup>2</sup>	

Ai fini delle verifiche strutturali si è fatto riferimento ad un **acciaio Feb32k**.

Nella tabella seguente, vengono illustrati i risultati delle prove di trazione condotte sui campioni estratti dai Corpi B e C.

Sigla	Posizione in opera	Diametro provino (mm)	Data prova	Tipo di acciaio	Tensione di snervamento (N/mm <sup>2</sup> )	Tensione di rottura (N/mm <sup>2</sup> )	Ag (%)
A2	Trave a quota -2,50	12	10-11-2020	a.m.	459,2	574,9	14,65
A3	Trave a quota -6,50	20	10-11-2020	a.m.	608,21	656,45	4,8
A4	Pilastro a quota -6,50	16	10-11-2020	a.m.	573,30	643,71	20,5

Nella scheda di calcolo seguente, vengono illustrate invece le calcolazioni relative alla determinazione dei valori medi della tensione di snervamento e della tensione di rottura.

Resistenza caratteristica a trazione acciaio in opera					
Riferimento :		Corpi B e C			
	<b>RESISTENZA sperimentale</b>	<b>F<sub>y</sub></b>	<b>F<sub>t</sub></b>	Certificato n.	
		<i>Mpa</i>	<i>Mpa</i>		
	valori medi:	<b>570,67</b>	<b>643,67</b>		
1	A2	531,00	632,00	620-20-b	
2	A3	608,00	656,00	620-20-b	
3	A4	573,00	643,00	620-20-b	
Snervamento medio in opera Resistenza a rottura media		F <sub>y</sub> F <sub>t</sub>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="background-color: #d3d3d3; padding: 2px 5px;"><b>570,67</b> N/mm<sup>2</sup></div> <div style="padding: 2px 5px;">643,67 N/mm<sup>2</sup></div> </div>		

Le caratteristiche meccaniche dell'acciaio in opera, desunte dalle prove di laboratorio eseguite, consentono di identificare la tipologia di acciaio in opera per i corpi di fabbrica. Ai fini delle verifiche strutturali si è fatto riferimento ad un **acciaio Feb44k**.

### 3.5 Livello di conoscenza

In riferimento a quanto riportato nella tabella C8.5.IV della Circolare n. 2 del 11 Febbraio 2019, **nelle analisi computazionali si è scelto di assumere un fattore di confidenza pari a 1 limitatamente al Corpo C.** Tale scelta è dettata dalle chiare indicazioni riportate nella suddetta circolare ed in particolare con riferimento a quanto riportato nel par. C8.5.4 che recita: *“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.”.* **Nel caso invece dei Corpi A e B è stato assunto cautelativamente un fattore di confidenza pari a 1.20.**

Tenuto conto delle analisi computazionali eseguite nell'ambito delle verifiche sismiche preventive condotte sull'edificio scolastico in oggetto, si è scelto di eseguire per entrambi i corpi di fabbrica un'analisi statica non lineare.

Le analisi sono state condotte mediante l'ausilio del software di calcolo **ACCA Edilus**.

## 4 Caratteristiche dei materiali relativi agli interventi

### 4.1 - MATERIALI IMPIEGATI E RESISTENZE DI CALCOLO

Di seguito si riportano le informazioni relative all'elenco dei materiali impiegati, alle loro modalità di posa in opera e ai valori di calcolo.

Per la realizzazione dell'opera in oggetto saranno impiegati i seguenti materiali, i cui valori dei parametri caratteristici sono di seguito elencati.

#### **MALTA CEMENTIZIA PER INCAMICIATURE E INGROSSAMENTI**

Per gli interventi di consolidamento che prevedono l'utilizzo di conglomerato cementizio, si è scelto di utilizzare un prodotto che consenta di eseguire agevolmente getti di piccole quantità. Dunque si è deciso di prescrivere l'utilizzo di una malta cementizia bicomponente HPFRC (High Performance Fiber Reinforced Concrete) premiscelata, colabile, arricchita con microsilici reattivi ad elevatissima attività pozzolanica e speciali additivazioni cristallizzanti che incrementano le sue prestazioni finali e la sua durabilità, fibrorinforzata con fibre metalliche rigide e/o polipropileniche, ad espansione contrastata.

Si riportano di seguito le specifiche tecniche:

Adesione al supporto (UNI EN 1542): > 2 N/mm<sup>2</sup>

Agibilità al traffico leggero (a 20 °C): 24 h –

Agibilità con massime sollecitazioni: 3 gg

Energia di frattura: 30000 N/m

Modulo elastico (EN 13412): = 37 GPa

Profondità di penetrazione all'acqua (UNI EN 12390-8): < 2 mm

Profondità media di carbonatazione: 0.0 mm

Resistente agli agenti chimici

Resistente ai cicli di gelo/disgelo in presenza di sali/cloruri –

Resistente ai solfati

Resistenza a compressione a 01 gg (UNI EN 1015-11): > 40 N/mm<sup>2</sup> - a 02 gg > 60 N/mm<sup>2</sup>

Resistenza a compressione dopo 28 giorni (UNI EN 1015-11): > 90 N/mm<sup>2</sup>

Resistenza a flessione (UNI EN 1015-11): > 30 N/mm<sup>2</sup>

Resistenza a trazione: > 8 N/mm<sup>2</sup>

Resistenza al taglio (metodo del cuneo a 45°): > 16 Mpa

Rimozione dei casseri: 24-48 h

Ritiro endogeno: < 0.05 %

Ritiro/espansione in fase libera (t 20 °C e U.R. 50%): ±10 µ/m

## MATERIALI ACCIAIO (ingrossamenti, incamiciature in acciaio)

Si riportano di seguito le caratteristiche degli acciai relativi alle opere in cemento armato e agli interventi incamiciatura in acciaio (pilastri).

Caratteristiche acciaio																
N <sub>id</sub>	γ <sub>k</sub>	α <sub>T, i</sub>	E	G	St z	f <sub>yk,1</sub> / f <sub>yk,2</sub>	f <sub>tk,1</sub> / f <sub>tk,2</sub>	f <sub>yd,1</sub> / f <sub>yd,2</sub>	f <sub>td</sub>	γ <sub>s</sub>	γ <sub>M1</sub>	γ <sub>M2</sub>	γ <sub>M3,SL</sub> V	γ <sub>M3,SL</sub> E	γ <sub>M7</sub> NCn t	Cn t
	[N/m <sup>3</sup> ]	[1/°C]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]							
Acciaio B450C - (B450C) (acciaio da carpenteria in ca)																
00	78	0,00001	210	80 769	P	450,00	-	391,30	-	1,1	-	-	-	-	-	-
2	500	0	000			-		-								
S275 - (S275) (acciaio da carpenteria metallica)																
00	78	0,00001	210	80 769	P	275,00	430	261,90	-	1,0	1,0	1,2	-	-	-	-
4	500	2	000			255,00	410	242,86								

LEGENDA:

N<sub>id</sub> Numero identificativo del materiale, nella relativa tabella dei materiali.

γ<sub>k</sub> Peso specifico.

α<sub>T, i</sub> Coefficiente di dilatazione termica.

## Caratteristiche acciaio

$N_{id}$	$\gamma_k$	$\alpha_{T,i}$	E	G	St z	$f_{yk,1}/$ $f_{yk,2}$	$f_{tk,1}/$ $f_{tk,2}$	$f_{yd,1}/$ $f_{yd,2}$	$f_{td}$	$\gamma_s$	$\gamma_{M1}$	$\gamma_{M2}$	$\gamma_{M3,SL}$ V	$\gamma_{M3,SL}$ E	$\gamma_{M7}$ NCn t	Cn t
	[N/m <sup>3</sup> ]	[1/°C]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]							

**E** Modulo elastico normale.

**G** Modulo elastico tangenziale.

**Stz** Tipo di situazione: [F] = di Fatto (Esistente); [P] = di Progetto (Nuovo).

**$f_{tk,1}$**  Resistenza caratteristica a Rottura (per profili con  $t \leq 40$  mm).

**$f_{tk,2}$**  Resistenza caratteristica a Rottura (per profili con  $40 \text{ mm} < t \leq 80$  mm).

**$f_{td}$**  Resistenza di calcolo a Rottura (Bulloni).

**$\gamma_s$**  Coefficiente parziale di sicurezza allo SLV del materiale.

**$\gamma_{M1}$**  Coefficiente parziale di sicurezza per instabilità.

**$\gamma_{M2}$**  Coefficiente parziale di sicurezza per sezioni tese indebolite.

**$\gamma_{M3,SLV}$**  Coefficiente parziale di sicurezza per scorrimento allo SLV (Bulloni).

**$\gamma_{M3,SLE}$**  Coefficiente parziale di sicurezza per scorrimento allo SLE (Bulloni).

**$\gamma_{M7}$**  Coefficiente parziale di sicurezza precarico di bulloni ad alta resistenza (Bulloni - NCnt = con serraggio NON controllato; Cnt = con serraggio controllato). [-] = parametro NON significativo per il materiale.

**$f_{yk,1}$**  Resistenza caratteristica allo snervamento (per profili con  $t \leq 40$  mm).

**$f_{yk,2}$**  Resistenza caratteristica allo snervamento (per profili con  $40 \text{ mm} < t \leq 80$  mm).

**$f_{yd,1}$**  Resistenza di calcolo (per profili con  $t \leq 40$  mm).

**$f_{yd,2}$**  Resistenza di calcolo (per profili con  $40 \text{ mm} < t \leq 80$  mm).

**NOTE** [-] = Parametro non significativo per il materiale.

## TENSIONI AMMISSIBILI ALLO SLE DEI VARI MATERIALI

## Tensioni ammissibili allo SLE dei vari materiali

Materiale	SL	Tensione di verifica	$\sigma_{d,amm}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Cls C32/40_B450C	Caratteristica(RARA)	Compressione Calcestruzzo	19,92
	Quasi permanente	Compressione Calcestruzzo	14,94
Acciaio B450C	Caratteristica(RARA)	Trazione Acciaio	360,00
Cls C25/30_B450C	Caratteristica(RARA)	Compressione Calcestruzzo	14,94
	Quasi permanente	Compressione Calcestruzzo	11,21

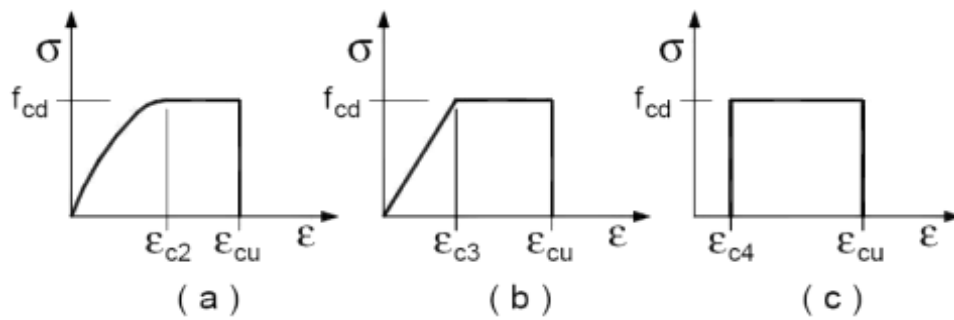
LEGENDA:

**SL** Stato limite di esercizio per cui si esegue la verifica.

**$\sigma_{d,amm}$**  Tensione ammissibile per la verifica.

Tutti i materiali impiegati dovranno essere comunque verificati con opportune prove di laboratorio secondo le prescrizioni della vigente Normativa.

I diagrammi costitutivi degli elementi in calcestruzzo sono stati adottati in conformità alle indicazioni riportate al §4.1.2.1.2.1 del D.M. 2018; in particolare per le verifiche effettuate a pressoflessione retta e pressoflessione deviata è adottato il modello (a) riportato nella seguente figura.



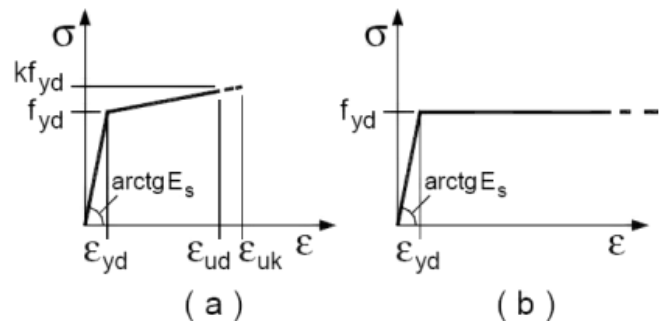
Diagrammi di calcolo tensione/deformazione del calcestruzzo.

I valori di deformazione assunti sono:

$$\varepsilon_{c2} = 0,0020;$$

$$\varepsilon_{cu2} = 0,0035.$$

I diagrammi costitutivi dell'acciaio sono stati adottati in conformità alle indicazioni riportate al §4.1.2.1.2.2 del D.M. 2018; in particolare è adottato il modello elastico perfettamente plastico tipo (b) rappresentato nella figura sulla destra.



La resistenza di calcolo è data da  $f_{yk}/\gamma_s$ .

Il coefficiente di sicurezza  $\gamma_s$  si assume pari a 1,15.

Si sintetizzano di seguito le specifiche dei materiali metallici prescritti:

**ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA:** S275 JR UNI EN10025

**ACCIAIO IN BARRE:** B 450C

**SALDATURA** UNI EN 1011 - EN 9692 (Preparazione lembi)

**SALDATURA TIPO 1** - ad arco sommerso - Elettrodi E44 4B UNI 5132

**BULLONI:** UNI EN 15048-1:2007 e UNI EN ISO 4016:2011

**VITI:** CL. 8.8 UNI EN ISO 898-1:2013 rif. UNI EN 14399: 2005 parti 3 e 4

**DADI:** 8 UNI EN ISO 898-2:2012 rif. UNI EN 14399: 2005 parti 3 e 4

**ROSETTE E PIASTRINE:** ACCIAIO C50 UNI EN 10083-2:2006 temperato e rinvenuto HRC 32-40  
rif. UNI EN 14399:2005 parti 5 e 6



#### **4.1 - MATERIALI COMPOSITI**

I tessuti da utilizzare sono di tipo unidirezionale e quadriassiale.

Per la realizzazione degli interventi di rafforzamento con utilizzo di materiali compositi fibro-rinforzati (FRP), si dovranno utilizzare esclusivamente prodotti specifici (kit composto da primer, stucco epossidico, adesivo epossidici strutturali, tessuto in fibre di carbonio) ad elevata e documentata compatibilità chimico-fisica, in possesso di Certificazione di Valutazione Tecnica rilasciata dal S.T.C. del C.S.LL.PP.

Il richiamato sistema di rinforzo formato si compone di un tessuto unidirezionale/quadriassiale in fibra di carbonio ad alta resistenza e resina epossidica bicomponente, per installazione con il metodo di applicazione ad umido.

Applicazione:

1. Stesa sul supporto di un primo strato di resina epossidica, rispondente ai requisiti della normativa EN 1504-4 per l'incollaggio di elementi strutturali, avente la funzione di primerizzazione della superficie;
2. Impregnazione su un piano di lavoro del nastro di materiale composito con la resina epossidica .
3. Posizionamento dei nastri di materiale composito, fresco su fresco, sulla superficie preventivamente primerizzata, secondo le indicazioni di progetto, avendo cura di evitare la formazione di eventuali bolle d'aria;
4. eventuale stesa di un secondo strato di resina epossidica;
5. ripetizione delle fasi (2), (3) e (4) per tutti gli strati previsti progettualmente, sia in semplice sovrapposizione che in direzione ortogonale alla precedente;
6. rimozione delle eventuali parti eccedenti di resina.

Le sovrapposizioni (ad es. la chiusura di una staffa o di una cerchiatura di un pilastro) devono essere realizzate nella direzione delle fibre e devono essere di almeno 100-150 mm, o in accordo alle specifiche di progetto.

Nel posizionamento ed installazione di diversi tessuti unidirezionali, uno di fianco all'altro, non è generalmente richiesta alcuna sovrapposizione nelle direzione della trama (ortogonale alle fibre), tranne se diversamente specificato e/o richiesto dal progetto.

Il materiale di rinforzo deve garantire le caratteristiche minime prestazionali di progetto, che dovranno essere adeguatamente certificate da laboratori riconosciuti. Il sistema di rinforzo dovrà essere in possesso di referenze nazionali o estere di almeno 20 anni.

Si riporta di seguito una tabella di sintesi dei materiali compositi:

**Tessuto quadriassiale**

Grammatura (g/m<sup>2</sup>): = 380

Spessore equivalente di tessuto secco: = 0,05

Area resistente per unità di larghezza (mm<sup>2</sup>/m): = 50,00

Resistenza meccanica trazione (MPa): > 4800

Carico massimo per unità di larghezza (kN/m): = 250

Modulo elastico a trazione (GPa):= 230

Allungamento a rottura (%): ~2,1

Adesione al calcestruzzo (MPa): = 2 (rottura calcestruzzo)

**Tessuto unidirezionale**

Tensione di rottura a trazione >4800 MPa,

Modulo elastico a trazione 230 GPa,

Allungamento a rottura > 1.5%.

Peso : 300 g/m<sup>2</sup> - per strato