

CITTA' METROPOLITANA DI TORINO



COMUNE DI CANTALUPA

TITOLO	PROGETTO DI ADEGUAMENTO SISMICO DEL PLESSO SCOLASTICO "SILVIA PIGNATELLI"				
	Strada del Monastero, 9				
PROGETTO	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA				
OGGETTO	Relazione Specialistica Opere Strutturali	ELABORATO	4	ALLEGATI	-
				SCAL	-
				DATA	Giugno 2018
				AGG.	-
FILE	12-2018				
IL PROGETTISTA	IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO	IL DIRIGENTE SETTORE LL.PP.			



Via Buniva n. 85
10064 Pinerolo (TO)
Tel. 0121480243 – fax 0121 480107
P. IVA 10128900015
C.F. FRL PLA 69P28 G674I

INDICE

1) Oggetto di intervento.....	pag.3
2) Criteri di modellazione strutturale.....	pag.3
3) Descrizione degli interventi in progetto.....	pag.4
3.1) Struttura 1 (1976).....	pag.4
3.2) Struttura 2 (1980).....	pag.5
3.3) Struttura 3 (1983).....	pag.7
3.4) Struttura 4 (1983).....	pag.9
4) Definizione dei parametri di progetto ai sensi del D.M. 17/01/2018.....	pag.10
5) Caratteristiche dei materiali.....	pag.12
5.1) Caratteristiche delle barre d'armatura.....	pag.12
5.2) Caratteristiche del conglomerato cementizio.....	pag.19
6) Livello di conoscenza.....	pag.32

1. Oggetto dell'intervento

Il presente progetto ha per oggetto l'adeguamento sismico delle strutture n.1-2-3-4 facenti parte del plesso scolastico "Silvia Pignatelli", sito nel comune di Cantalupa in Strada del Monastero n°9.

Gli interventi strutturali in progetto sono stati elaborati a seguito di un attento studio, svolto su ciascuna struttura, volto a determinare il comportamento al sisma degli edifici in esame, con l'individuazione delle criticità e delle carenze strutturali. Molte sono le possibilità di intervento per potenziare la resistenza al sisma di una struttura, fino a portarla ad essere adeguata a resistere alle sollecitazioni sismiche attese secondo la normativa vigente, per il caso specifico l'idea guida utilizzata per raggiungere lo scopo è stata quella di incrementare la sismo-resistenza delle strutture in oggetto mediante l'inserimento di nuovi elementi sismo resistenti di elevata rigidità (setti in c.a.), il rinforzo ed eventualmente il rifacimento di alcuni pilastri, il rinforzo ed eventualmente il rifacimento di alcune travi, la creazione di elementi di collegamento trasversale tra i telai piani attualmente presenti, il collegamento in fondazione, nelle due direzioni, dei piedi dei pilastri, la creazione o l'adeguamento dei giunti tra le strutture.

2. Criteri di modellazione strutturale

Le quattro strutture oggetto di intervento sono state modellate e calcolate singolarmente, mediante la creazione di un modello tridimensionale necessaria alla successiva analisi agli elementi finiti (calcolo FEM). In calce alla "Relazione Generale" (elaborato di progetto n.1) si può consultare, come Allegato n.1, la planimetria con l'individuazione dei giunti strutturali attualmente presenti e rilevati tra le strutture; sebbene non sempre il giunto tecnico sia presente tra due corpi di fabbrica adiacenti, le strutture sono state ugualmente modellate e calcolate separatamente, prendendo già in considerazione gli interventi necessari alla creazione del giunto stesso.

La modellazione della struttura è avvenuta in conformità con quanto richiesto dal §7.2.6. del D.M. 17/01/2018 generando un modello di calcolo tridimensionale che rappresenta in modo adeguato le distribuzioni spaziali di massa, rigidità e resistenza. Le travi ed i pilastri sono schematizzati con elementi trave a due nodi deformabili assialmente, a flessione e taglio. Per gli elementi strutturali bidimensionali, quali piastre e setti, viene utilizzato un modello finito a 3 o 4 nodi di tipo shell che modella sia il comportamento membranale (lastra) che flessionale (piastra). I vincoli tra i vari elementi strutturali e con il terreno sono stati modellati in maniera congruente al reale comportamento strutturale.

Per quanto riguarda gli orizzontamenti sono stati considerati "infinitamente rigidi" in quanto composti in latero-cemento con soletta di spessore 40 mm (per tutte le strutture) in linea con quanto prescritto al § 7.2.6 NTC 2018.

3. Descrizione degli interventi in progetto

Nel presente capitolo verranno descritti nel dettaglio, per ciascuna delle strutture in oggetto, tutti gli interventi strutturali previsti. In linea generale i principali criteri di intervento sono descritti all'interno della "Relazione Generale". Nei paragrafi che seguono, nel richiamare un certo piano, si farà riferimento alla relativa pianta strutturale (vedi tavole grafiche strutturali da S1 a S8).

Per ciascuna struttura è prevista la demolizione di una piccola porzione di setto controterra in c.a. al fine di permettere l'accesso al piano fondazionale, necessario per eseguire i lavori previsti a tale livello. Detta porzione di setto verrà poi ricostruita.

3.1. Struttura 1 (1976)

Per la struttura 1, facente parte del I° e II° lotto, si prevedono i seguenti interventi.

- **Demolizioni:** A livello di piano interrato e piano fondazioni si prevede la demolizione di tutte quelle porzioni di setto in c.a. in luogo delle quali verranno realizzati i nuovi setti sismo resistenti in c.a. previsti in progetto. E' prevista la completa demolizione del solaio su gambette presente al piano interrato per permettere la realizzazione di nuove travi al piano fondazionale per il reciproco collegamento dei plinti. Al piano rialzato si prevede la demolizione di diverse porzioni di solaio per consentire di realizzare delle travi in spessore di collegamento trasversale tra i vari telai piani attualmente esistenti, nonché la demolizione di alcune travi di solaio travi che, non verificando a taglio e/o a flessione, verranno ricostruite. Per altre travi è invece previsto il rinforzo mediante il potenziamento puntuale dell'armatura. In corrispondenza del setto a confine tra la struttura 1 e la struttura 2 è prevista la realizzazione del giunto strutturale tra i due corpi di fabbrica adiacenti. A livello del piano sottotetto gli interventi si presentano analoghi a quelli descritti per il piano rialzato ma in aggiunta si prevede, ove presente, la demolizione del cornicione esistente in c.a. (che verrà sostituito un nuovo sporto in legno), intervento che permetterà di ridurre le masse in quota ed eliminare elementi in aggetto debolmente armati. Inoltre verranno demoliti e ricostruiti la gran parte dei pilastri presenti al sottotetto in quanto dotati di ferri di armatura decisamente non sufficiente nei confronti dell'azione sismica, oltre a presentare una lunghezza dei ferri di richiamo insufficiente. A livello del piano copertura si prevede la demolizione della quasi totalità delle travi in c.a. che verranno sostituite da travi in legno lamellare.
- **Interventi strutturali:** In fondazione si prevede la realizzazione di nuove travi di fondazione di collegamento tra i vari plinti isolati e le fondazioni dei setti esistenti. Il progetto prevede inoltre la realizzazione di nuove fondazioni al di sotto dei nuovi

setti in c.a.. Al piano rialzato si prevede il rifacimento delle travi in demolizione, la realizzazione di nuove travi di collegamento tra i vari telai piani, la realizzazione dei nuovi setti e il rinforzo strutturale delle travi che presentano una mancata verifica a flessione mediante l'aggiunta dei ferri all'estradosso delle stesse con relativo incremento di sezione. Laddove necessario è previsto, per l'intero loro sviluppo, il rinforzo strutturale mediante "incamiciatura" di alcuni pilastri. A livello del piano sottotetto gli interventi si presentano analoghi a quelli del piano rialzato ma in aggiunta si prevede la realizzazione di un nuovo sporto in legno a sostituzione del preesistente cornicione in c.a.. Si prevede il rifacimento di quasi tutti i pilastri in demolizione al sottotetto (non è previsto il rifacimento di quei pilastri erroneamente realizzati verso la struttura n.4 a sostegno dei carichi provenienti dalla copertura dell'adiacente struttura n.4. Il progetto, come sottolineato, prevede la realizzazione di un nuovo oggetto in legno e la posa in opera di travi di colmo e banchina (e qualche trave inclinata) in legno lamellare in luogo di quelle in c.a..

3.2. Struttura 2 (1980)

Per la struttura 2, facente parte del III° lotto, si prevedono i seguenti interventi.

- **Demolizioni:** Sul piano fondazionale si prevede la demolizione di quelle porzioni di setto controterra esistenti in c.a. in corrispondenza dei quali verranno realizzati i nuovi setti sismo-resistenti in progetto. Alcune porzioni di setto adiacenti ai pilastri (inclusi nei setti) saranno demolite per favorire l'operazione di rinforzo dei pilastri tramite la tecnica dell'incamiciatura. Al piano rialzato si prevede la demolizione di alcune porzioni di setto (analogamente al livello fondazioni) per il rifacimento successivo dei nuovi setti in progetto e consentire l'incamiciatura dei pilastri da rinforzare. A livello del piano sottotetto si prevede, ove presente, la demolizione del cornicione esistente in c.a. da sostituire poi con un nuovo sporto in legno. Verranno demolite quelle travi che non soddisfano la verifica a taglio e/o a flessione e per le quali non risulta conveniente/possibile un intervento di rinforzo. A livello del piano copertura si prevede anche qui la demolizione dei pilastri che sorreggono la trave di colmo in legno così come la demolizione della trave inclinata in c.a. e relativo setto (in falso) che sorreggono la trave di colmo all'estremità verso la struttura n.1. Trave e setto in questione sono quelli illustrati nell'immagine fotografica di seguito riportata.



Vista della trave inclinata in c.a. poggiante su parete in mattoni forati

- **Interventi strutturali:** A livello di fondazioni si prevede la realizzazione di nuove travi in c.a. di collegamento tra i vari plinti isolati e le fondazioni dei setti esistenti. Inoltre verranno realizzati i nuovi setti sismo resistenti in progetto con relativa fondazione ove previsto. Si prevede la realizzazione di un nuovo pilastro in c.a. incluso all'interno di un setto esistente che proseguirà fino alla copertura. Al piano rialzato verranno realizzati i nuovi setti sismo-resistenti in progetto, verranno rinforzati alcuni pilastri mediante incamiciatura e rinforzate alcune travi all'estradosso per mancata verifica a flessione (con conseguente incremento di armatura e sezione). A livello del piano sottotetto gli interventi si presentano analoghi a quelli del piano rialzato ma in aggiunta si prevede la realizzazione di un nuovo sporto in legno a sostituzione del preesistente cornicione in c.a. Per le stesse ragioni già esplicitate per la struttura n.1 verranno demoliti i pilastri in c.a. esistenti e ricostruiti opportunamente armati e ancorati alla struttura sottostante.

3.3. Struttura 3 (1983)

Per la struttura 3, facente parte del IV° lotto, si prevedono i seguenti interventi.

- **Demolizioni:** a livello di fondazioni si prevede la realizzazione dei nuovi setti sismo resistenti in progetto con relativa fondazione ove previsto. Alcuni pilastri verranno demoliti per rendere possibile la formazione del giunto strutturale con la struttura 2 (verranno poi ricostruiti in posizione leggermente diversa). Al piano rialzato verranno demolite alcune porzioni di setto (analogamente al livello fondazioni) per il rifacimento successivo dei nuovi setti, la demolizione di alcuni pilastri inclusi nei setti e la demolizione di una porzione del setto verso la struttura 2 per la realizzazione del giunto strutturale dal piano rialzato fino al piano campagna. A livello del piano sottotetto si prevede, ove presente, la demolizione del cornicione

esistente in c.a. per la prevista realizzazione di un nuovo sporto in legno. Inoltre verranno demolite quelle travi che non soddisfano la verifica a taglio e/o flessione e per le quali non risulta conveniente/possibile un intervento di rinforzo. Verranno inoltre demoliti i pilastri (e relative travi di collegamento) al confine con la struttura 2 (successivamente ricostruiti in diversa posizione) per permettere la creazione del giunto strutturale. A livello del piano copertura si prevede la demolizione dei pilastri (anche qui aventi armatura e ferri di richiamo insufficienti), della trave di colmo in c.a. e della trave inclinata in c.a.. All'estremità rivolta verso la struttura n.5 la trave di colmo in c.a. appoggia su uno spessoramento in mattoni forati che a sua volta trasmette il carico direttamente sul cornicione in c.a. oggetto di demolizione (vedi le immagini fotografiche esplicative di seguito riportata).



Assenza di continuità strutturale tra la trave di colmo e la trave inclinata



Assenza di collegamento tra elementi in c.a.

- **Interventi strutturali:** A livello di fondazioni si prevede la ricostruzione dei setti precedentemente demoliti e delle porzioni di setto e pilastri nella nuova posizione per consentire la realizzazione del giunto strutturale. Al piano rialzato si prevede la realizzazione di un nuovo setto sismo-resistente, la ricostruzione dei pilastri al confine con la struttura 2 ed il rinforzo di alcune travi all'estradosso per mancata verifica a flessione (con conseguente incremento di armatura e sezione). A livello del piano sottotetto gli interventi si presentano analoghi a quelli del piano rialzato ma in aggiunta si prevede la realizzazione di due pilastri aggiuntivi utili per ridurre la luce di alcune travi e di un nuovo sporto in legno a sostituzione del preesistente cornicione in c.a. A livello del piano copertura si prevede la realizzazione di due pilastri a sostegno della trave di colmo (in continuità con quelli presenti al livello inferiore) e la posa di una nuova trave di colmo in legno lamellare.

3.4. Struttura 4 (1983)

Per la struttura 4 facente parte del IV° lotto, si prevedono i seguenti interventi.

- **Demolizioni:** Anche per la struttura n.4 a livello di fondazioni verranno demolite quelle porzioni di setto in c.a. corrispondenti ai nuovi setti sismo-resistenti. Alcuni pilastri verranno demoliti per rendere possibile la formazione del giunto strutturale con l'adiacente struttura 1 (verranno poi ricostruiti in posizione leggermente diversa), mentre alcune porzioni di setto verranno demolite per consentire il rinforzo del vicino pilastro mediante l'incamiciatura dello stesso. Al piano rialzato si prevede la demolizione di alcune porzioni di setto (analogamente al livello fondazioni) per il rifacimento successivo dei nuovi setti, la demolizione di alcuni pilastri al confine con la struttura 1 così come la demolizione di una porzione del setto (a partire dal piano rialzato fino al piano campagna) per consentire la formazione del giunto tecnico. A livello del piano sottotetto si prevede, ove presente, la demolizione del cornicione esistente in c.a. per la prevista realizzazione di un nuovo sporto in legno. Inoltre verranno demolite quelle travi che non soddisfano la verifica a taglio e/o flessione e per le quali non risulta conveniente/possibile un intervento di rinforzo. Verranno inoltre demoliti i pilastri (e le relative travi di collegamento) al confine con la struttura 1 (successivamente ricostruiti in diversa posizione) per permettere la creazione del giunto strutturale. A livello del piano copertura si prevede la demolizione della maggior parte dei pilastri (con armatura e ferri di richiamo insufficienti), della trave di colmo in c.a. e delle travi inclinate in c.a. (carenti di ferri d'armatura) così come le porzioni di cornicione esistente in c.a. che sarà sostituito da nuovo sporto in legno.

- **Interventi strutturali:** A livello di fondazioni si prevede la ricostruzione dei setti precedentemente demoliti, delle porzioni di setto e dei pilastri nella nuova posizione per consentire la realizzazione del giunto strutturale. Alcuni pilastri saranno soggetti ad intervento di incamiciatura analogamente a quanto previsto per le altre strutture. Al piano rialzato si prevede la realizzazione dei nuovi setti sismo-resistenti, la ricostruzione dei pilastri al confine con la struttura 1, l'incamiciatura dei pilastri che necessitano di rinforzo ed il rinforzo di alcune travi all'estradosso per mancata verifica a flessione (con conseguente incremento di armatura e sezione). A livello del piano sottotetto gli interventi si presentano analoghi a quelli del piano rialzato ma in aggiunta verranno ricostruite le travi demolite in precedenza e posto in opera un nuovo aggetto in legno a sostituzione del preesistente cornicione in c.a. A livello del piano copertura si prevede la realizzazione di nuovi pilastri e la ricostruzione di gran parte dei pilastri demoliti in precedenza, nonché la realizzazione di una nuova trave di colmo e travi di banchina in legno lamellare. Verranno altresì realizzati tre nuovi pilastri (con relative travi) al confine con la struttura 1 sopraelevando pilastri esistenti al fine di veicolare correttamente il peso proveniente dai puntoni in legno della copertura (che attualmente scaricano il peso su alcune travi e pilastri della struttura 1) sulla struttura n.4.

4. Definizione dei parametri di progetto ai sensi delle NTC - D.M. 17/01/2018

Secondo quanto previsto al §2.4 del decreto ed ai fini della definizione dei livelli di sicurezza e delle prestazioni attese, alle costruzioni sono stati attribuiti i seguenti parametri:

- Vita nominale V_N (anni) = 100 (prestazioni elevate – Tab. 2.4.I)
- Classe d'uso Classe IV (§ 2.4.2.)
- Periodo di riferimento $V_R = V_N \cdot C_U = 100 \cdot 2,0 = 200$ (C_U da Tab. 2.4.II)

In riferimento alle prescrizioni di cui al § 3.2 si sono definiti i seguenti parametri:

- Categoria del sottosuolo categoria B (Tab. 3.2.II)
- Categoria topografica categoria T1 (Tab. 3.2.V)
- Amplificazione topografica $S_T = 1,0$ (Tab. 3.2V)
- Zona sismica del sito 3S
- Coordinate del sito Long. = 7,33436 Lat. = 44,93970

Trattandosi di un'analisi su strutture esistenti è stato posto, per tutte le strutture, un fattore di comportamento "q" (fattore di struttura) secondo quanto prescritto al §7.4.3.2 pari a $q=1,5$ per entrambe le direzioni dell'azione sismica.

Per tutte le strutture, si è proceduto ad effettuare un'analisi di tipo DINAMICA NODALE vista la presenza di piani rigidi (considerati infinitamente rigidi) ai vari livelli delle strutture eccetto che in copertura (realizzata in legno) che risulta di fatto un piano deformabile. Quest'ultimo, infatti, non essendo rigido non avrà quindi la capacità di ripartire l'azione sismica agli elementi verticali sottostanti (pilastri) proporzionalmente alla loro rigidità: quest'ultimi saranno quindi interessati da una forza sismica proporzionale alla massa che interessa l'area di competenza degli stessi che sarà applicata ai nodi (da qui analisi nodale), ovvero alla sommità dei pilastri.

I legami costitutivi utilizzati nelle analisi globali finalizzate al calcolo delle sollecitazioni sono del tipo elastico lineari.

I nuovi elementi strutturali in progetto sono stati verificati agli stati limite, sia di esercizio (SLE) che ultimi (SLU), individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso ai sensi del § 7.1, tenendo conto dei limiti e dei vincoli imposti dalla Norma al paragrafo § 7.3.6. Secondo quest'ultimo, considerando una struttura di Classe d'Uso IV, è necessario verificare gli SLE secondo lo *Stato Limite di Operatività (SLO)* nei confronti del requisito di rigidità (spostamenti massimi consentiti) e secondo lo *Stato Limite del Danno (SLD)* nei confronti della resistenza in esercizio degli elementi. Invece, sempre secondo il paragrafo §7.3.6. gli SLU vanno verificati secondo lo *Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV)* nei confronti del requisito di resistenza degli elementi strutturali mentre non è necessario verificare la struttura secondo lo *Stato Limite di Collasso (SLC)* in termini di duttilità nel caso in cui, come in questo caso, sia stato considerato un fattore di comportamento $q \leq 1,5$ (§7.3.6.1).

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva tabella:

Stati Limite PVR :		Probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Per quanto riguarda la determinazione delle caratteristiche dei materiali e l'entità dei carichi sono state seguite scrupolosamente le indicazioni fornite dal D.M. 17/01/2018 e, per quanto concerne l'analisi dei carichi, anche quanto riportato all'interno delle relazioni di calcolo e dei certificati di collaudo originali delle varie strutture oggetto di studio.

5. Caratteristiche dei materiali

Per valutare le caratteristiche di resistenza dei materiali (barre di acciaio e calcestruzzo) costituenti la struttura portante dei vari fabbricati oggetto di studio e le caratteristiche geometriche di travi, pilasti e setti, si è ricorso a varie indagini conoscitive svolte in situ da parte della ditta 4EMME su indicazione dello scrivente (si vedano le relazioni a redatte dalla ditta 4EMME).

5.1 Caratteristiche delle barre d'armatura

Questa indagine è stata svolta intervenendo su alcuni elementi strutturali scelti a campione (trave, pilastro) per ogni livello dell'edificio, andando a mettere a nudo i ferri di armatura attraverso la rimozione del calcestruzzo di copriferro; tale operazione ha in primis permesso di effettuare una verifica sul numero e sulla posizione degli stessi, dall'altro ha consentito di prelevare dei campioni di barre di armatura su quali effettuare delle prove dirette di laboratorio atte a valutare le caratteristiche di resistenza a rottura per trazione dell'acciaio ed il relativo valore di snervamento. In altri casi è stata effettuata una valutazione indiretta della resistenza a rottura mediante l'uso del microdurometro.

I valori di resistenza dell'acciaio ricavati per ciascun livello (impalcato per i solai ed interpiano per i pilastri) di una determinata struttura, sono stati mediati (media aritmetica) ottenendo così il valore medio della tensione di snervamento dell'acciaio per un determinato livello. Tali valori sono stati inseriti, per ciascun livello, all'interno del modello di calcolo ottenuto mediante modellazione con il software CDS della STS.

Di seguito si riportano le tabelle contenenti i dati sperimentali forniti dalla ditta 4EMME per le quattro strutture oggetto di intervento e le tabelle utilizzate per calcolare il valore medio di resistenza a snervamento dei ferri d'armatura per ogni livello di ciascun edificio.

Per visualizzare in maniera completa ed esaustiva i dati ottenuti dalle prove di laboratorio su provini prelevati in situ e dalle indagini svolte si rimanda direttamente alle relazioni fornite dalla ditta 4EMME per ciascuna struttura in esame.

5.1.1 STRUTTURA 1 (I° e II° lotto – 1976)

Di seguito si riporta la tabella con i valori sperimentali della tensione di rottura e snervamento inerenti i vari provini testati in laboratorio.

Dati dichiarati			Risultati di prova					
Sigla	Data prelievo	Posizione in opera	Ø Eff. [mm]	Lunghezza [mm]	Tipo di acciaio	Tensione di snervamento f_y [N/mm ²]	Tensione di rottura f_t [N/mm ²]	Agt %
F1	03/03/2018	Edif. 1 – Piano Rialzato - Pilastro	13,85	517	Barra tonda liscia	384,3	566,1	15,3
F2	03/03/2018	Edif. 1 – Piano Rialzato - Pilastro	13,86	547	Barra tonda liscia	403,1	596,1	17,1
F3	03/03/2018	Edif. 1 – Piano Rialzato - Trave	17,67	565	Barra tonda liscia	320,6	449,9	15,8
F4	03/03/2018	Edif. 2 – Piano Rialzato - Pilastro	14,07	536	Barra aderenza migliorata	449,9	707,5	9,0
F5	03/03/2018	Edif. 3 – Piano Rialzato - Trave	13,90	546	Barra aderenza migliorata	479,1	706,9	10,0
F6	03/03/2018	Edif. 3 Piano Rialzato - Pilastro	12,39	523	Barra aderenza migliorata	521,2	788,8	10,8
F7	03/03/2018	Edif. 1 – Piano Interrato - Pilastro	17,86	521	Barra tonda liscia	317,2	452,3	16,3
F8	03/03/2018	Edif. 1 – Piano Interrato - Trave	19,85	565	Barra tonda liscia	349,5	536,0	16,9
F9	03/03/2018	Edif. 1 – Piano Interrato - Pilastro	17,83	530	Barra tonda liscia	317,7	451,7	20,3
F10	03/03/2018	Edif. 1- Piano Sottotetto – Pilastro	10,30	527	Barra tonda liscia	468,9	669,5	14,5
F11	03/03/2018	Edif. - 1 Piano Sottotetto - Pilastro	10,17	525	Barra tonda liscia	432,0	653,6	13,4
F12	03/03/2018	Edif. 1 Piano Sottotetto - Trave	12,15	520	Barra tonda liscia	362,0	584,5	15,8

I valori medi di resistenza a snervamento dell'acciaio per ciascun livello di impalcato (travi) e per ciascun interpiano (pilastri) sono riportati nei seguenti paragrafi.

5.1.1.1 Caratteristiche barre d'armatura travi

TRAVE PIANO TERRA STRUTTURALE E INTERCAPEDINE				
TRAVE PIANO INTERRATO (pianta architettonico)				
CRITERIO	N° prov.	Arm. Φ [mm]	Tipologia armatura	resistenza a snervamento [Mpa] [N/mm ²]
	1 CDS	F8		LISCIA
				349,5
				valore medio

TRAVE PIANO SOTTOTETTO STRUTTURALE				
TRAVE PIANO TERRA (pianta architettonico)				
CRITERIO	N° prov.	Arm. Φ [mm]	Tipologia armatura	resistenza a snervamento [Mpa] [N/mm ²]
	5 CDS	F3		LISCIA
				320,6
				valore medio

TRAVE PIANO COPERTURA STRUTTURALE				
TRAVE PIANO SOTTOTETTO (pianta architettonico)				
CRITERIO 6 CDS	N° prov.	Arm. Φ [mm]	Tipologia armatura	resistenza a snervamento [Mpa] [N/mm ²]
		F12		LISCIA
				362
				valore medio

5.1.1.2 Caratteristiche barre d'armatura pilastri

PILASTRO PIANO INTERRATO (pianta architettonico)				
CRITERIO 3 CDS	N° prov.	Arm. Φ [mm]	Tipologia armatura	resistenza a snervamento [Mpa] [N/mm ²]
		F9		LISCIA
	F7		LISCIA	317,2
				317,5
				valore medio

PILASTRO PIANO RIALZATO (TERRA) (pianta architettonico)				
CRITERIO 7 CDS	N° prov.	Arm. Φ [mm]	Tipologia armatura	resistenza a snervamento [Mpa] [N/mm ²]
		F2		LISCIA
	F1		LISCIA	384,3
				393,7
				valore medio

PILASTRO PIANO SOTTOTETTO (pianta architettonico)				
CRITERIO 8 CDS	N° prov.	Arm. Φ [mm]	Tipologia armatura	resistenza a snervamento [Mpa] [N/mm ²]
		F11		LISCIA
	F10		LISCIA	468,9
				450,5
				valore medio

5.1.2 STRUTTURA 2 (III° lotto – 1980)

Di seguito si riporta la tabella con i valori sperimentali della tensione di rottura e snervamento inerenti i vari provini testati in laboratorio.

Dati dichiarati			Risultati di prova					
Sigla	Data prelievo	Posizione in opera	∅ Eff. [mm]	Lunghezza [mm]	Tipo di acciaio	Tensione di snervamento f_y [N/mm ²]	Tensione di rottura f_t [N/mm ²]	Agt %
F1	03/03/2018	Edif. 1 – Piano Rialzato - Pilastro	13,85	517	Barra tonda liscia	384,3	566,1	15,3
F2	03/03/2018	Edif. 1 – Piano Rialzato - Pilastro	13,86	547	Barra tonda liscia	403,1	596,1	17,1
F3	03/03/2018	Edif. 1 – Piano Rialzato - Trave	17,67	565	Barra tonda liscia	320,6	449,9	15,8
F4	03/03/2018	Edif. 2 – Piano Rialzato - Pilastro	14,07	536	Barra aderenza migliorata	449,9	707,5	9,0
F5	03/03/2018	Edif. 3 – Piano Rialzato - Trave	13,90	546	Barra aderenza migliorata	479,1	706,9	10,0
F6	03/03/2018	Edif. 3 Piano Rialzato - Pilastro	12,39	523	Barra aderenza migliorata	521,2	788,8	10,8
F7	03/03/2018	Edif. 1 – Piano Interrato - Pilastro	17,86	521	Barra tonda liscia	317,2	452,3	16,3
F8	03/03/2018	Edif. 1 – Piano Interrato - Trave	19,85	565	Barra tonda liscia	349,5	536,0	16,9
F9	03/03/2018	Edif. 1 – Piano Interrato - Pilastro	17,83	530	Barra tonda liscia	317,7	451,7	20,3
F10	03/03/2018	Edif. 1- Piano Sottotetto – Pilastro	10,30	527	Barra tonda liscia	468,9	669,5	14,5
F11	03/03/2018	Edif. - 1 Piano Sottotetto - Pilastro	10,17	525	Barra tonda liscia	432,0	653,6	13,4
F12	03/03/2018	Edif. 1 Piano Sottotetto - Trave	12,15	520	Barra tonda liscia	362,0	584,5	15,8
F18	30/03/2018	Edificio 2 – fondazioni - trave	14,09	430	Barra aderenza migliorata	434,2	672,3	6,1
F19	30/03/2018	Edificio 2 – piano rialzato trave	14,09	540	Barra aderenza migliorata	449,2	701,3	14,3

I valori medi di resistenza a snervamento dell'acciaio per ciascun livello di impalcato (travi) e per ciascun interpiano (pilastri) sono riportati nei seguenti paragrafi.

5.1.2.1 Caratteristiche barre d'armatura travi

TRAVI DI FONDAZIONE				
PIANO FONDAZIONI				
CRITERIO 2 CDS	N° prov.	Arm. Φ [mm]	Tipologia armatura	resistenza a snervamento [Mpa] [N/mm ²]
	F18		aderenza migliorata	434,2
				434,2
				valore medio

TRAVE PIANO RIALZATO STRUTTURALE E INTERCAPEDINE				
TRAVE PIANO INTERRATO (pianta architettonico)				
CRITERIO 1 CDS	N° prov.	Arm. Φ [mm]	Tipologia armatura	resistenza a snervamento [Mpa] [N/mm ²]
	F19		aderenza migliorata	449,2
				449,2
				valore medio

5.1.2.2 Caratteristiche barre d'armatura pilastri

PILASTRO PIANO RIALZATO (TERRA) (pianta architettonico)				
CRITERIO 5CDS	N° prov.	Arm. Φ [mm]	Tipologia armatura	resistenza a snervamento [Mpa] [N/mm ²]
	F4		aderenza migliorata	449,9
				449,9
				valore medio

5.1.3 STRUTTURA 3 (IV° lotto – 1983)

Di seguito si riporta la tabella con i valori sperimentali della tensione di rottura e snervamento inerenti i vari provini testati in laboratorio.

Dati dichiarati			Risultati di prova					
Sigla	Data prelievo	Posizione in opera	Ø Eff. [mm]	Lunghezza [mm]	Tipi di acciaio	Tensione di snervamento f_y [N/mm ²]	Tensione di rottura f_t [N/mm ²]	Agt %
F1	03/03/2018	Edif. 1 – Piano Rialzato - Pilastro	13,85	517	Barra tonda liscia	384,3	566,1	15,3
F2	03/03/2018	Edif. 1 – Piano Rialzato - Pilastro	13,86	547	Barra tonda liscia	403,1	596,1	17,1
F3	03/03/2018	Edif. 1 – Piano Rialzato - Trave	17,67	565	Barra tonda liscia	320,6	449,9	15,8
F4	03/03/2018	Edif. 2 – Piano Rialzato - Pilastro	14,07	536	Barra aderenza migliorata	449,9	707,5	9,0
F5	03/03/2018	Edif. 3 – Piano Rialzato - Trave	13,90	546	Barra aderenza migliorata	479,1	706,9	10,0
F6	03/03/2018	Edif. 3 Piano Rialzato - Pilastro	12,39	523	Barra aderenza migliorata	521,2	788,8	10,8
F7	03/03/2018	Edif. 1 – Piano Interrato - Pilastro	17,86	521	Barra tonda liscia	317,2	452,3	16,3
F8	03/03/2018	Edif. 1 – Piano Interrato - Trave	19,85	565	Barra tonda liscia	349,5	536,0	16,9
F9	03/03/2018	Edif. 1 – Piano Interrato - Pilastro	17,83	530	Barra tonda liscia	317,7	451,7	20,3
F10	03/03/2018	Edif. 1 - Piano Sottotetto – Pilastro	10,30	527	Barra tonda liscia	468,9	669,5	14,5
F11	03/03/2018	Edif. - 1 Piano Sottotetto - Pilastro	10,17	525	Barra tonda liscia	432,0	653,6	13,4
F12	03/03/2018	Edif. 1 Piano Sottotetto - Trave	12,15	520	Barra tonda liscia	362,0	584,5	15,8
F17	30/03/2018	Edificio 3 – fondazioni - trave	13,83	482	Barra aderenza migliorata	440,0	705,5	10,6

I valori medi di resistenza a snervamento dell'acciaio per ciascun livello di impalcato (travi) e per ciascun interpiano (pilastri) sono riportati nei seguenti paragrafi.

5.1.3.1 Caratteristiche barre d'armatura travi

TRAVI DI FONDAZIONE				
PIANO FONDAZIONI				
CRITERIO	N° prov.	Arm. Φ [mm]	Tipologia armatura	resistenza a snervamento [Mpa] [N/mm ²]
	2 CDS	F17		aderenza migliorata
				440
				valore medio

TRAVE PIANO SOTTOTETTO STRUTTURALE				
TRAVE PIANO TERRA (pianta architettonico)				
CRITERIO	N° prov.	Arm. Φ [mm]	Tipologia armatura	resistenza a snervamento [Mpa] [N/mm ²]
	6 CDS	F5		aderenza migliorata
				479,1
				valore medio

5.1.3.2 Caratteristiche barre d'armatura pilastri

PILASTRO PIANO RIALZATO (TERRA) (pianta architettonico)				
CRITERIO 9 CDS	N° prov.	Arm. Φ [mm]	Tipologia armatura	resistenza a snervamento [Mpa] [N/mm ²]
		F6		aderenza migliorata
				521,2
				valore medio

5.1.4 STRUTTURA 4 (IV° lotto – 1983)

Di seguito si riporta la tabella con i valori sperimentali della tensione di rottura e snervamento inerenti i vari provini testati in laboratorio.

Dati dichiarati			Risultati di prova					
Sigla	Data prelievo	Posizione in opera	\varnothing Eff. [mm]	Lunghezza [mm]	Tipo di acciaio	Tensione di snervamento f_y [N/mm ²]	Tensione di rottura f_t [N/mm ²]	Agt %
F13	30/03/2018	Edificio 4 – piano rialzato – pilastro	13,90	509	Barra aderenza migliorata	468,4	686,3	5,8
F14	30/03/2018	Edificio 4 – piano rialzato – trave	13,82	563	Barra aderenza migliorata	474,0	721,8	9,5
F15	30/03/2018	Edificio 4 – fondazioni - trave	10,19	586	Barra aderenza migliorata	432,8	645,1	17,3
F16	30/03/2018	Edificio 4 – fondazioni - trave	14,30	525	Barra aderenza migliorata	445,3	681,2	10,3

I valori medi di resistenza a snervamento dell'acciaio per ciascun livello di impalcato (travi) e per ciascun interpiano (pilastri) sono riportati nei seguenti paragrafi.

5.1.4.1 Caratteristiche barre d'armatura travi

TRAVI DI FONDAZIONE				
PIANO FONDAZIONI				
CRITERIO 2 CDS	N° prov.	Arm. Φ [mm]	Tipologia armatura	resistenza a snervamento [Mpa] [N/mm ²]
		F15		aderenza migliorata
	F16		aderenza migliorata	445,3
				439,05
				valore medio

TRAVE PIANO TERRA STRUTTURALE E INTERCAPEDINE				
TRAVE PIANO INTERRATO (pianta architettonico)				
CRITERIO 1 CDS	N° prov.	Arm. Φ [mm]	Tipologia armatura	resistenza a snervamento [Mpa] [N/mm ²]
		F14		aderenza migliorata
				474
				valore medio

5.1.4.2 Caratteristiche barre d'armatura pilastri

PILASTRO PIANO RIALZATO (TERRA) (pianta architettonico)					
CRITERIO 8 CDS	N° prov.	Arm. Φ [mm]	Tipologia armatura	resistenza a snervamento [Mpa] [N/mm ²]	
	F13		aderenza migliorata	468,4	
				468,4	valore medio

5.1.5 Osservazioni

Come si può osservare dalle tabelle sopra riportate sono presenti alcuni livelli per i quali non è stato prelevato alcun provino da testare in laboratorio, le motivazioni sono molteplici, le principali sono le seguenti:

- Non tutti i livelli dei vari edifici risultano accessibili, per esempio le fondazioni della struttura 1 non sono accessibili/ispezionabili;
- Non risulta necessario conoscere i valori di resistenza per tutti i livelli, vi sono infatti degli elementi, quali la maggior parte dei pilastri e delle travi che sorreggono la copertura, che, per i motivi espressi in precedenza, verranno demoliti;

Secondo la vigente normativa (NTC 2018 e Circolare esplicativa NTC 2008) le indagini e le prove effettuate consentono di raggiungere un livello di conoscenza LC3 per tutte le strutture componenti il plesso scolastico ed oggetto di intervento.

E' comunque da sottolineare come, essendo disponibili per ciascuna struttura i progetti e i certificati di collaudo originali, è stato possibile acquisire informazioni in merito alla tipologia delle barre d'armatura utilizzate all'epoca per le varie strutture, pertanto ai dati mancanti sulle prove sperimentali, si è fatto riferimento alla tipologia di ferro dichiarata nei progetti originali e nei documenti di collaudo (FeB32 oppure FeB44).

5.2 Caratteristiche del conglomerato cementizio

Per la determinazione della resistenza a compressione del conglomerato cementizio sono stati prelevati dei campioni di materiale in situ mediante l'uso di apposita carotatrice, provvedendo poi, sempre a cura della ditta 4EMME, ad effettuare sui provini prelevati delle prove di rottura a compressione in laboratorio.

Questa operazione è stata svolta prelevando campioni rappresentativi per ciascun livello dell'edificio (sia per travi che per pilastri). I valori di resistenza fanno riferimento alla rottura

di provini di forma cilindrica (ricavati dalla carota in cls prelevata in situ) il cui rapporto altezza/diametro “h/d” è uguale all’unità: questo rende di fatto i risultati ottenuti in termini di resistenza a compressione riconducibili direttamente a quelli che si sarebbero ottenuti dalla rottura di provini cubici. Mediando poi aritmeticamente i valori di resistenza ricavati dai provini si è ottenuto il corrispondente valore di resistenza a compressione medio sperimentale R_{cm} rappresentativo per ogni livello secondo quanto prescritto dal Par. 8.5.3 D.M. 17/01/2018 per le costruzioni esistenti. Per giungere al valore di resistenza medio a compressione su provino cilindrico f_{cm} (richiesto dal programma di calcolo) rappresentativo del calcestruzzo di ciascun livello si è passati attraverso la seguente formulazione valida per valori caratteristici (vedi par. 11.2.10.1 D.M. 17/01/2018):

$$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} [N/mm^2] \quad (\text{formula 11.2.1 D.M.17/01/2018})$$

che, per analogia, ci consente di giungere ad una formulazione identica prendendo però in considerazione valori medi sperimentali

$$f_{cm} = 0,83 * R_{cm} [N/mm^2] \quad .$$

Nella pagine che seguono si riportano le tabelle contenenti i dati sperimentali forniti dalla ditta 4EMME ed i valori mediati per ciascun livello della costruzione.

Per le specifiche si fa diretto rimando alla relazione dalla ditta 4EMME.

5.2.1 STRUTTURA 1 (I° e II° lotto – 1976)

Di seguito si riporta la tabella con i valori sperimentali della resistenza a compressione inerenti i vari provini testati in laboratorio.

Dati dichiarati			Risultati di prova								
Sigla	Data estrazione	Posizione in opera	Dimensioni [mm]		h/d	Massa volumica [kg/m ³]	Resistenza a compressione f_c [N/mm ²]	Tipo rottura	Max inerte \varnothing [mm]	Armatura rilevata [mm]	Data prova
			\varnothing	h							
C1	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Rialzato – Pilastro	105	105	1/1	2125	15,8	S	25	-	15/03/2018
C2	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Rialzato – Pilastro	105	105	1/1	2182	17,3	S	33	-	15/03/2018
C3	03/03/2018	Edificio 2 – Piano Rialzato – Pilastro	105	103	1/1	2271	35,1	S	25	-	15/03/2018
C4	03/03/2018	Edificio 3 – Piano Rialzato - Pilastro	105	106	1/1	2169	25,1	S	34	-	15/03/2018
C5	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Interrato - Pilastro	105	105	1/1	2163	10,2	S	25	-	15/03/2018
C6	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Interrato - Pilastro	105	107	1/1	2167	9,7	S	25	-	15/03/2018
C7	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Interrato - Muro	105	104	1/1	2165	12,7	S	30	-	15/03/2018
C8	03/03/2018	Edificio 1 – piano interrato – Muro	105	108	1/1	2237	22,0	S	30	-	15/03/2018
C9	03/03/2018	Edificio 2 – Fondazioni - Pilastro	105	106	1/1	2225	35,8	S	25	-	15/03/2018
C10	03/03/2018	Edificio 3 - Fondazioni - Pilastro	105	106	1/1	2206	40,5	S	30	-	15/03/2018
C11	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Rialzato - Trave	105	107	1/1	2242	19,0	S	27	1 \varnothing 18	15/03/2018
C12	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Interrato - Pilastro	105	104	1/1	2159	7,4	S	25	-	15/03/2018
C13	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Interrato - Pilastro	105	104	1/1	2151	9,2	S	22	-	15/03/2018
C14	03/03/2018	Edificio 3 – Fondazioni - Trave	105	104	1/1	2245	38,1	S	28	-	15/03/2018
C15	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Rialzato - Pilastro	105	104	1/1	2142	15,8	S	28	-	15/03/2018
C16	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Rialzato - Pilastro	105	105	1/1	2133	16,0	S	32	-	15/03/2018
C17	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Sottotetto - Pilastro	105	107	1/1	2213	11,2	S	27	-	15/03/2018
C18	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Sottotetto - Pilastro	105	102	1/1	2155	10,0	S	25	-	15/03/2018
C19	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Sottotetto - Pilastro	105	104	1/1	2140	13,3	S	25	-	15/03/2018
C20	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Sottotetto - Pilastro	105	107	1/1	2158	13,7	S	26	-	15/03/2018
C21	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Sottotetto - Pilastro	105	106	1/1	2220	13,0	S	25	-	15/03/2018

Dati dichiarati			Risultati di prova								
Sigla	Data estrazione	Posizione in opera	Dimensioni [mm]		h/d	Massa volumica [kg/m ³]	Resistenza a compressione f_c [N/mm ²]	Tipo rottura	Max inerte \varnothing [mm]	Armatura rilevata [mm]	Data prova
			\varnothing	h							
C22	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Sottotetto - Pilastro	105	105	1/1	2147	13,5	S	32	-	15/03/2018
C23	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Sottotetto - Trave	105	107	1/1	2169	14,5	S	38	-	15/03/2018
C24	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Sottotetto - Trave	105	103	1/1	2264	49,9	S	30	-	15/03/2018
C25	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Sottotetto - Trave	105	106	1/1	2149	21,7	S	23	1 \varnothing 8	15/03/2018
C26	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Sottotetto - Trave	105	105	1/1	2213	22,9	S	42	-	15/03/2018
C27	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Sottotetto - Trave	105	104	1/1	2194	35,6	S	25	-	15/03/2018
C28	03/03/2018	Edificio 3 – Piano Sottotetto - Pilastro	105	105	1/1	1971	12,5	S	33	-	15/03/2018
C29	03/03/2018	Edificio 3 – Piano Sottotetto - Trave	105	106	1/1	2105	12,2	S	32	-	15/03/2018
C30	03/03/2018	Edificio 3 – Piano Sottotetto - Trave	105	105	1/1	2145	19,0	S	33	-	15/03/2018
C31	03/03/2018	Edificio 2 – Piano Sottotetto - Pilastro	105	104	1/1	2278	22,3	S	25	-	15/03/2018
C32	03/03/2018	Edificio 2 – Piano Sottotetto - Trave	105	108	1/1	2386	35,0	S	25	1 \varnothing 14	15/03/2018
C33	03/03/2018	Edificio 2 – Piano Rialzato - Pilastro	105	104	1/1	2260	35,0	S	35	-	15/03/2018

Dati dichiarati			Risultati di prova								
Sigla	Data estrazione	Posizione in opera	Dimensioni [mm]		h/d	Massa volumica [kg/m ³]	Resistenza a compressione f_c [N/mm ²]	Tipo rottura	Max inerte \varnothing [mm]	Armatura rilevata [mm]	Data prova
			\varnothing	h							
C45	29/03/2018	Edificio 1 – piano rialzato - trave	105	104	1/1	2132	17,2	S	25	-	12/04/2018
C46	29/03/2018	Edificio 1 – piano rialzato - trave	105	104	1/1	2139	22,8	S	24	-	12/04/2018
C47	29/03/2018	Edificio 1 – piano rialzato - trave	105	106	1/1	2202	24,8	S	45	-	12/04/2018
C48	29/03/2018	Edificio 1 – piano rialzato - Trave	105	106	1/1	2139	24,3	S	22	-	12/04/2018
C49	29/03/2018	Edificio 1 – P. sottotetto - trave	105	102	1/1	2182	22,1	S	25	-	12/04/2018
C50	29/03/2018	Edificio 1 – P. sottotetto - trave	105	102	1/1	2160	21,5	S	27	-	12/04/2018
C51	29/03/2018	Edificio 1 – P. sottotetto - trave	105	104	1/1	2231	10,9	S	28	1 \varnothing 10	12/04/2018
C52	29/03/2018	Edificio 1 – P. sottotetto - trave	105	105	1/1	2182	20,6	S	25	-	12/04/2018
C53	29/03/2018	Edificio 1 – P. sottotetto - trave	105	103	1/1	2142	17,7	S	24	-	12/04/2018
C54	29/03/2018	Edificio 1 – piano rialzato - Pilastro	105	105	1/1	2116	14,1	S	35	-	12/04/2018

I valori medi di resistenza a compressione del calcestruzzo per ciascun livello di impalcato (travi) e per ciascun interpiano (pilastri) sono riportati nei seguenti paragrafi.

5.2.1.1 Resistenza a compressione travi

TRAVE PIANO RIALZATO STRUTTURALE E INTERCAPEDINE				
TRAVE PIANO INTERRATO (pianta architettonico)				
CRITERIO 1 CDS	N° prov.	Massa Volumica [kg/m ³]	resistenza a compressione R _{cm} [Mpa] [N/mm ²]	
	C11	2242	19	
	C45	2132	17,2	
	C46	2139	22,8	
	C47	2202	24,8	
	C48	2139	24,3	
		2170,8	21,6	valore medio

f_{cm} [N/mm²] 17,94

TRAVE PIANO SOTTOTETTO STRUTTURALE				
TRAVE PIANO TERRA (pianta architettonico)				
CRITERIO 5 CDS	N° prov.	Massa Volumica [kg/m ³]	resistenza a compressione [Mpa] [N/mm ²]	
	C49	2182	22,1	
	C50	2160	21,5	
	C51	2231	10,9	
	C52	2182	20,6	
	C53	2142	17,7	
		2179,4	18,6	valore medio

f_{cm} [N/mm²] 15,40

TRAVE PIANO COPERTURA STRUTTURALE				
TRAVE PIANO SOTTOTETTO (pianta architettonico)				
CRITERIO 6 CDS	N° prov.	Massa Volumica [kg/m ³]	resistenza a compressione [Mpa] [N/mm ²]	
	C27	2194	35,6	
	C26	2213	22,9	
	C25	2149	21,7	
	C24	2264	49,9	
	C23	2169	14,5	
		2197,8	28,9	valore medio

f_{cm} [N/mm²] 24,00

5.2.1.2 Resistenza a compressione pilastri

PILASTRO PIANO INTERRATO (pianta architettonico)				
CRITERIO 3 CDS	N° prov.	Massa Volumica [kg/m ³]	resistenza a compressione [Mpa] [N/mm ²]	
	C13	2151	9,2	
	C12	2159	7,4	
	C7	2165	12,7	
	C6	2167	9,7	
	C5	2163	10,2	
	C8	2237	22,0	
		2173,7	11,9	valore medio

f_{cm} [N/mm²] 9,85

PILASTRO PIANO RIALZATO (TERRA) (pianta architettonico)				
CRITERIO 7 CDS	N° prov.	Massa Volumica [kg/m ³]	resistenza a compressione [Mpa] [N/mm ²]	
	C16	2133	16,0	
	C15	2142	15,8	
	C2	2182	17,3	
	C1	2125	15,8	
	C54	2116	14,1	
		2139,6	15,8	valore medio

f_{cm} [N/mm²] 13,11

PILASTRO PIANO SOTTOTETTO (pianta architettonico)				
CRITERIO 8 CDS	N° prov.	Massa Volumica [kg/m ³]	resistenza a compressione [Mpa] [N/mm ²]	
	C22	2147	13,5	
	C21	2220	13,0	
	C20	2158	13,7	
	C19	2140	13,3	
	C18	2155	10,0	
	C17	2213	11,2	
		2172,2	12,5	valore medio

f_{cm} [N/mm²] 10,33

5.2.2 STRUTTURA 2 (III° lotto – 1980)

Di seguito si riporta la tabella con i valori sperimentali della resistenza a compressione inerenti i vari provini testati in laboratorio.

Dati dichiarati			Risultati di prova								
Sigla	Data estrazione	Posizione in opera	Dimensioni [mm]		h/d	Massa volumica [kg/m ³]	Resistenza a compressione f_c [N/mm ²]	Tipo rottura	Max inerte \varnothing [mm]	Armatura rilevata [mm]	Data prova
			\varnothing	h							
C1	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Rialzato – Pilastro	105	105	1/1	2125	15,8	S	25	-	15/03/2018
C2	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Rialzato – Pilastro	105	105	1/1	2182	17,3	S	33	-	15/03/2018
C3	03/03/2018	Edificio 2 – Piano Rialzato – Pilastro	105	103	1/1	2271	35,1	S	25	-	15/03/2018
C4	03/03/2018	Edificio 3 – Piano Rialzato - Pilastro	105	106	1/1	2169	25,1	S	34	-	15/03/2018
C5	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Interrato - Pilastro	105	105	1/1	2163	10,2	S	25	-	15/03/2018
C6	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Interrato - Pilastro	105	107	1/1	2167	9,7	S	25	-	15/03/2018
C7	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Interrato - Muro	105	104	1/1	2165	12,7	S	30	-	15/03/2018
C8	03/03/2018	Edificio 1 – piano interrato – Muro	105	108	1/1	2237	22,0	S	30	-	15/03/2018
C9	03/03/2018	Edificio 2 – Fondazioni - Pilastro	105	106	1/1	2225	35,8	S	25	-	15/03/2018

C31	03/03/2018	Edificio 2 – Piano Sottotetto - Pilastro	105	104	1/1	2278	22,3	S	25	-	15/03/2018
C32	03/03/2018	Edificio 2 – Piano Sottotetto - Trave	105	108	1/1	2386	35,0	S	25	1 \varnothing 14	15/03/2018
C33	03/03/2018	Edificio 2 – Piano Rialzato - Pilastro	105	104	1/1	2260	35,0	S	35	-	15/03/2018

C55	29/03/2018	Edificio 2 – P. Sottotetto - trave	105	103	1/1	2506	32,4	S	24	2 \varnothing 12 1 \varnothing 14	12/04/2018
C56	29/03/2018	Edificio 2 – piano rialzato – trave	105	105	1/1	2371	33,2	S	29	-	12/04/2018
C57	29/03/2018	Edificio 3 – piano rialzato – trave	105	102	1/1	2251	31,2	S	22	-	12/04/2018
C58	29/03/2018	Edificio 2 – piano rialzato – trave	105	104	1/1	2392	45,7	S	21	-	12/04/2018

I valori medi di resistenza a compressione del calcestruzzo per ciascun livello di impalcato (travi) e per ciascun interpiano (pilastri) sono riportati nei seguenti paragrafi.

5.2.2.1 Resistenza a compressione travi

TRAVE PIANO RIALZATO STRUTTURALE E INTERCAPEDINE			
TRAVE PIANO INTERRATO (pianta architettonico)			
CRITERIO	N° prov.	Massa Volumica [kg/m ³]	resistenza a compressione R_{cm} [Mpa] [N/mm ²]
	1 CDS	C56	2371
C58		2392	45,7
		2381,5	39,5
			valore medio

f_{cm} [N/mm²] **32,74**

TRAVE PIANO SOTTOTETTO STRUTTURALE			
TRAVE PIANO TERRA (pianta architettonico)			
CRITERIO 6 CDS	N° prov.	Massa Volumica [kg/m ³]	resistenza a compressione [Mpa] [N/mm ²]
	C32	2386	35,0
	C55	2506	32,4
	2446,0	33,7	valore medio

f_{cm} [N/mm²] **27,97**

5.2.2.2 Resistenza a compressione pilastri

PILASTRO PIANO INTERRATO-LIVELLO FONDAZIONI (pianta architettonico)			
CRITERIO 3 CDS	N° prov.	Massa Volumica [kg/m ³]	resistenza a compressione [Mpa] [N/mm ²]
	C9	2225	35,8
		2225,0	35,8

f_{cm} [N/mm²] **29,71**

PILASTRO PIANO RIALZATO (TERRA) (pianta architettonico)			
CRITERIO 5 CDS	N° prov.	Massa Volumica [kg/m ³]	resistenza a compressione [Mpa] [N/mm ²]
	C3	2271	35,1
	C33	2260	35,0
	2265,5	35,1	valore medio

f_{cm} [N/mm²] **29,09**

PILASTRO PIANO SOTTOTETTO (pianta architettonico)				
CRITERIO 7 CDS	N° prov.	Massa Volumica [kg/m ³]	resistenza a compressione [Mpa] [N/mm ²]	
	C31	2278	22,3	
		2278,0	22,3	valore medio

f_{cm} [N/mm²] **18,51**

5.2.3 STRUTTURA 3 (IV° lotto – 1983)

Di seguito si riporta la tabella con i valori sperimentali della resistenza a compressione inerenti i vari provini testati in laboratorio.

Dati dichiarati			Risultati di prova								
Sigla	Data estrazione	Posizione in opera	Dimensioni [mm]		h/d	Massa volumica [kg/m ³]	Resistenza a compressione f_c [N/mm ²]	Tipo rottura	Max inerte \varnothing [mm]	Armatura rilevata [mm]	Data prova
			\varnothing	h							
C1	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Rialzato – Pilastro	105	105	1/1	2125	15,8	S	25	-	15/03/2018
C2	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Rialzato – Pilastro	105	105	1/1	2182	17,3	S	33	-	15/03/2018
C3	03/03/2018	Edificio 2 – Piano Rialzato – Pilastro	105	103	1/1	2271	35,1	S	25	-	15/03/2018
C4	03/03/2018	Edificio 3 – Piano Rialzato - Pilastro	105	106	1/1	2169	25,1	S	34	-	15/03/2018
C5	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Interrato - Pilastro	105	105	1/1	2163	10,2	S	25	-	15/03/2018
C6	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Interrato - Pilastro	105	107	1/1	2167	9,7	S	25	-	15/03/2018
C7	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Interrato - Muro	105	104	1/1	2185	12,7	S	30	-	15/03/2018
C8	03/03/2018	Edificio 1 – piano interrato – Muro	105	108	1/1	2237	22,0	S	30	-	15/03/2018
C9	03/03/2018	Edificio 2 – Fondazioni - Pilastro	105	106	1/1	2225	35,8	S	25	-	15/03/2018
C10	03/03/2018	Edificio 3 - Fondazioni - Pilastro	105	106	1/1	2206	40,5	S	30	-	15/03/2018
C11	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Rialzato - Trave	105	107	1/1	2242	19,0	S	27	1 \varnothing 18	15/03/2018
C12	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Interrato - Pilastro	105	104	1/1	2159	7,4	S	25	-	15/03/2018
C13	03/03/2018	Edificio 1 – Piano Interrato - Pilastro	105	104	1/1	2151	9,2	S	22	-	15/03/2018
C14	03/03/2018	Edificio 3 – Fondazioni - Trave	105	104	1/1	2245	38,1	S	28	-	15/03/2018
C28	03/03/2018	Edificio 3 – Piano Sottotetto - Pilastro	105	105	1/1	1971	12,5	S	33	-	15/03/2018
C29	03/03/2018	Edificio 3 – Piano Sottotetto - Trave	105	106	1/1	2105	12,2	S	32	-	15/03/2018
C30	03/03/2018	Edificio 3 – Piano Sottotetto - Trave	105	105	1/1	2145	19,0	S	33	-	15/03/2018

C57	29/03/2018	Edificio 3 – piano rialzato – trave	105	102	1/1	2251	31,2	S	22	-	12/04/2018
C58	29/03/2018	Edificio 2 – piano rialzato – trave	105	104	1/1	2392	45,7	S	21	-	12/04/2018
C59	29/03/2018	Edificio 3 – piano rialzato – trave	105	104	1/1	2161	30,4	S	24	1 Ø 12	12/04/2018
C60	29/03/2018	Edificio 4 – fondazioni – pilastro	105	106	1/1	2182	25,6	S	27	-	12/04/2018
C61	29/03/2018	Edificio 4 – P. sottotetto – trave	105	102	1/1	2120	18,5	S	25	-	12/04/2018
C62	29/03/2018	Edificio 3 – P. sottotetto - trave	105	104	1/1	2097	26,2	S	28	-	12/04/2018

I valori medi di resistenza a compressione del calcestruzzo per ciascun livello di impalcato (travi) e per ciascun interpiano (pilastri) sono riportati nei seguenti paragrafi.

5.2.3.1 Resistenza a compressione travi

TRAVI DI FONDAZIONE			
PIANO FONDAZIONI			
CRITERIO 2 CDS	N° prov.	Massa Volumica [kg/m ³]	resistenza a compressione [Mpa] [N/mm ²]
	C14	2245	38,1
	2245,0	38,1	valore medio

f_{cm} [N/mm²] **31,62**

TRAVE PIANO RIALZATO STRUTTURALE E INTERCAPEDINE			
TRAVE PIANO INTERRATO (pianta architettonico)			
CRITERIO O 1 CDS	N° prov.	Massa Volumica [kg/m ³]	resistenza a compressione R _{cm} [Mpa] [N/mm ²]
	C57	2251	31,2
	C59	2161	30,4
	2206,0	30,8	valore medio

f_{cm} [N/mm²] **25,56**

TRAVE PIANO SOTTOTETTO STRUTTURALE			
TRAVE PIANO TERRA (pianta architettonico)			
CRITERIO 6 CDS	N° prov.	Massa Volumica [kg/m ³]	resistenza a compressione [Mpa] [N/mm ²]
	C30	2145	19,0
	C62	2097	26,2
	2121,0	22,6	valore medio

f_{cm} [N/mm²] **18,76**

TRAVE PIANO COPERTURA STRUTTURALE				
TRAVE PIANO SOTTOTETTO (pianta architettonico)				
CRITERIO 7 CDS	N° prov.	Massa Volumica [kg/m ³]	resistenza a compressione [Mpa] [N/mm ²]	
	C29	2105	12,2	
		2105,0	12,2	valore medio

f_{cm} [N/mm²] 10,13

5.2.3.2 Resistenza a compressione pilastri

PILASTRO PIANO INTERRATO-LIVELLO FONDAZIONI (pianta architettonico)				
CRITERIO 3 CDS	N° prov.	Massa Volumica [kg/m ³]	resistenza a compressione [Mpa] [N/mm ²]	
	C10	2206	40,5	
		2206,0	40,5	valore medio

f_{cm} [N/mm²] 33,62

PILASTRO PIANO RIALZATO (TERRA) (pianta architettonico)				
CRITERIO 9 CDS	N° prov.	Massa Volumica [kg/m ³]	resistenza a compressione [Mpa] [N/mm ²]	
	C4	2169	25,1	
		2169,0	25,1	valore medio

f_{cm} [N/mm²] 20,83

PILASTRO PIANO SOTTOTETTO (pianta architettonico)			
CRITERIO 5 CDS	N° prov.	Massa Volumica [kg/m ³]	resistenza a compressione [Mpa] [N/mm ²]
	C28	1971	12,5
	1971,0	12,5	valore medio

f_{cm} [N/mm²]	10,38
--	--------------

5.2.4 STRUTTURA 4 (IV° lotto – 1983)

Di seguito si riporta la tabella con i valori sperimentali della resistenza a compressione inerenti i vari provini testati in laboratorio.

Dati dichiarati				Risultati di prova							
Sigla	Data estrazione	Posizione in opera	Dimensioni [mm]		h/d	Massa volumica [kg/m ³]	Resistenza a compressione f _c [N/mm ²]	Tipo rottura	Max inerte Ø[mm]	Armatura rilevata [mm]	Data prova
			Ø	h							
C34	17/03/2018	Edificio 4 - P. Sottotetto - Pilastro	104	104	1	2131	9,4	S	29	-	21/03/2018
C35	17/03/2018	Edificio 4 - P. Sottotetto - Trave	104	104	1	2323	10,8	S	30	-	21/03/2018
C36	17/03/2018	Edificio 4 - P. Sottotetto - Trave	104	104	1	2242	12,7	S	28	1Ø8	21/03/2018
C37	17/03/2018	Edificio 4 - P. Sottotetto - Trave	104	104	1	2292	13,9	S	32	3Ø8	21/03/2018
C38	17/03/2018	Edificio 4 - P. Sottotetto - Pilastro	104	104	1	2119	12,9	S	25	-	21/03/2018
C39	17/03/2018	Edificio 4 - Piano rialzato - Pilastro	104	104	1	2340	19,9	S	25	1Ø14	21/03/2018
C40	17/03/2018	Edificio 4 - Piano rialzato - Pilastro	104	104	1	2239	21,1	S	32	-	21/03/2018
C41	17/03/2018	Edificio 4 - Fondazioni - Pilastro	104	104	1	2134	11,4	S	25	-	21/03/2018
C42	17/03/2018	Edificio 4 - Fondazioni - Trave	104	104	1	2185	16,1	S	30	-	21/03/2018
C43	17/03/2018	Edificio 4 - Piano rialzato - Trave	104	104	1	2336	18,2	S	39	-	21/03/2018
C44	17/03/2018	Edificio 4 - Piano rialzato - Trave	104	104	1	2354	39,6	S	30	-	21/03/2018
C60	29/03/2018	Edificio 4 – fondazioni – pilastro	105	106	1/1	2182	25,6	S	27	-	12/04/2018
C61	29/03/2018	Edificio 4 – P. sottoletto – trave	105	102	1/1	2120	18,5	S	25	-	12/04/2018

I valori medi di resistenza a compressione del calcestruzzo per ciascun livello di impalcato (travi) e per ciascun interpiano (pilastri) sono riportati nei seguenti paragrafi.

5.2.4.1 Resistenza a compressione travi

TRAVI DI FONDAZIONE			
PIANO FONDAZIONI			
CRITERIO 2 CDS	N° prov.	Massa Volumica [kg/m ³]	resistenza a compressione [Mpa] [N/mm ²]
	C42	2185	16,1
	2185,0	16,1	valore medio

f_{cm} [N/mm²] **13,36**

TRAVE PIANO TERRA/RIALZATO STRUTTURALE			
TRAVE PIANO INTERRATO (pianta architettonico)			
CRITERIO 1 CDS	N° prov.	Massa Volumica [kg/m ³]	resistenza a compressione R_{cm} [Mpa] [N/mm ²]
	C43	2336	18,2
	C44	2354	39,6
	2345,0	28,9	valore medio

f_{cm} [N/mm²] **23,99**

TRAVE PIANO SOTTOTETTO STRUTTURALE			
TRAVE PIANO TERRA (pianta architettonico)			
CRITERIO 6 CDS	N° prov.	Massa Volumica [kg/m ³]	resistenza a compressione [Mpa] [N/mm ²]
	C37	2292	13,9
	C61	2120	18,5
	2120,0	16,2	valore medio

f_{cm} [N/mm²] **13,45**

TRAVE PIANO COPERTURA STRUTTURALE				
TRAVE PIANO SOTTOTETTO (pianta architettonico)				
CRITERIO 7 CDS	N° prov.	Massa Volumica [kg/m ³]	resistenza a compressione [Mpa] [N/mm ²]	
	C35	2323	10,8	
	C36	2242	12,7	
		2282,5	11,8	valore medio

f_{cm} [N/mm²] **9,75**

5.2.4.2 Resistenza a compressione pilastri

PILASTRO PIANO INTERRATO/FONDAZIONE				
CRITERIO 3 CDS	N° prov.	Massa Volumica [kg/m ³]	resistenza a compressione [Mpa] [N/mm ²]	
	C41	2134	11,4	
	C60	2182	25,6	
		2158,0	18,5	valore medio

f_{cm} [N/mm²] **15,36**

PILASTRO PIANO RIALZATO (TERRA) (pianta architettonico)				
CRITERIO 8 CDS	N° prov.	Massa Volumica [kg/m ³]	resistenza a compressione [Mpa] [N/mm ²]	
	C39	2340	19,9	
	C40	2239	21,1	
		2289,5	20,5	valore medio

f_{cm} [N/mm²] **17,02**

PILASTRO PIANO SOTTOTETTO (pianta architettonico)				
CRITERIO 5 CDS	N° prov.	Massa Volumica [kg/m ³]	resistenza a compressione [Mpa] [N/mm ²]	
	C34	2131	9,4	
	C38	2119	12,9	
		2125,0	11,2	valore medio

f_{cm} [N/mm ²]	9,25
-------------------------------	-------------

5.2.5 Osservazioni

Come si può osservare dalle tabelle sopra riportate sono presenti alcuni livelli per i quali non è stato prelevato alcun provino da testare in laboratorio. Questo è dovuto alle motivazioni già precedentemente esposte per i ferri d armatura.

6. Livello di conoscenza

Come prescritto dalla Circolare 2 Febbraio 2009 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008" (a tutt'oggi vigente in attesa che venga pubblicata la nuova circolare esplicativa riferita al D.M. 2018), per le costruzioni esistenti è necessario, per quanto possibile, effettuare dei rilievi geometrici, indagini in situ e prove sui materiali al fine di raggiungere un buon livello di conoscenza, nonché per individuare un corretto metodo di analisi (lineare, non lineare, statica o dinamica) per poi effettuare la verifica dell'edificio.

Gli aspetti che definiscono i livelli di conoscenza sono:

La geometria, ossia le caratteristiche geometriche degli elementi strutturali;

I dettagli strutturali, ossia la quantità e disposizione delle armature, compreso il passo delle staffe e la loro chiusura, per il c.a., i collegamenti per l'acciaio, i collegamenti tra elementi strutturali diversi, la consistenza degli elementi non strutturali collaboranti;

I materiali, ossia le proprietà meccaniche dei materiali.

Più questi aspetti sono noti e più si ricadrà all'interno di un Livello di Conoscenza maggiore che consentirà analisi più sofisticate ed al quale corrisponderà un certo Fattore di Confidenza, che altro non è che un fattore di sicurezza da applicarsi come ulteriore coefficiente riduttivo delle proprietà dei materiali, tenendo così conto del grado di incertezza che comunque si ha sulla struttura.

Secondo il paragrafo C8A.1.B.3 “Costruzioni in calcestruzzo armato o in acciaio: livelli di conoscenza”, e secondo le indagini svolte dalla ditta 4EMME, si è verosimilmente raggiunto un livello di conoscenza LC3 (vedi la tabella C8A.1.2 della Circolare 2 Febbraio 2009 sotto riportata).

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

Il progettista

(Ing. Paolo FIORILLO)

