

Città di Torino
Settore edilizia scolastica nuove opere

VERIFICHE TECNICHE
STRUTTURALI SU EDIFICI SCOLASTICI
INSERITI NELLE OPERE DI MANUTENZIONE
STRAORDINARIA
CIRCOSCRIZIONI 7-8-1 PARTE (CENTRO)

PERIZIA STATICA PRELIMINARE

(fase 1)

Scuola Media “Nievo”

Via Mentana n. 14 - TORINO

Il professionista

Ing. Carmelo RINALDIS

Indice

1.	Introduzione	3
2.	Riferimenti normativi.....	4
3.	Documentazione acquisita.....	4
4.	Descrizione generale dell'opera	4
5.	Descrizione delle strutture.....	6
6.	Analisi del quadro fessurativo e delle criticità riscontrate	7
7.	Criteri di analisi svolta al calcolatore	8
8.	Analisi strutturale secondo normativa originaria	9
8.1.	Criteri generali di analisi e di verifica	9
8.2.	Caratteristiche dei materiali	10
8.3.	Analisi dei carichi	11
8.4.	Analisi delle sollecitazioni e verifica elementi	12
9.	Valutazione della sicurezza secondo normativa attuale (NTC 2008).....	18
9.1.	Criteri generali di analisi e di verifica	19
9.2.	Caratteristiche dei materiali	19
9.3.	Analisi dei carichi.....	21
9.4.	Analisi delle sollecitazioni e verifica elementi	22
10.	Conclusioni.....	27

1. Introduzione

Nel contesto delle opere di manutenzione straordinaria di alcuni edifici scolastici appartenenti alle circoscrizioni 7, 8 e parte della 1, nel territorio della Città di Torino, sono previste delle verifiche tecniche strutturali, nella forma di perizia statica, in conformità alle leggi vigenti all'epoca della costruzione, e la valutazione della sicurezza secondo la procedura prevista dal D.M. 14/1/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni".

Lo svolgimento delle verifiche suddette è articolato in due fasi temporali, di seguito descritte:

- Fase 1: predisposizione di una perizia statica preliminare, valutando la sicurezza strutturale dell'edificio nel rispetto delle normative vigenti all'epoca della costruzione e delle normative attuali, e progettazione di una campagna di indagini conoscitive sulle strutture e sui materiali costitutivi;
- Fase 2: direzione operativa della campagna di indagini conoscitive ed emissione del certificato di idoneità statica, accompagnato dalla perizia statica conclusiva.

Nella fase attuale di verifica (Fase 1) sussistono naturalmente delle incertezze, differenti da caso a caso in funzione delle informazioni già disponibili e dalla facilità di comprensione della struttura tramite semplici rilievi visivi. Per tale ragione, la valutazione della sicurezza statica è da considerarsi in ogni caso approssimativa, e dunque la perizia statica dovrà ritenersi "preliminare".

La presente perizia statica riguarda le strutture del plesso scolastico sede della Scuola Media "Nievo" e della palestra annessa, sito in via Mentana n. 14 a Torino.

La prima parte della relazione comprende la descrizione generale dell'opera e delle strutture, l'inquadramento storico del fabbricato e l'eventuale evoluzione costruttiva, e i risultati dei rilievi e delle indagini condotte (Capitoli 2 – 7); la seconda riguarda l'analisi dei risultati ottenuti applicando la normativa vigente all'epoca della costruzione (Capitolo 8), mentre la terza parte riassume una valutazione dei livelli di sicurezza secondo il D.M. 14/1/2008 attualmente vigente (Capitolo 9).

La documentazione fotografica a corredo della presente relazione è riportata nell'Allegato n. 1.

2. Riferimenti normativi

La Normativa di riferimento per l'esecuzione delle verifiche tecniche è riportata di seguito:

- Regio Decreto n. 2229 del 16/11/1939 “Norme per la esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice od armato”;
- Circ. Min. LL.PP. n. 1472 del 23/05/1957 “Armature delle strutture in cemento armato”;
- Circ. Min. LL.PP. n. 1547 del 17/05/1965 “Caratteristiche e modalità di impiego nel cemento armato degli acciai ad aderenza migliorata”;
- Norme CNR UNI 10012/67 “Ipotesi di carico sulle costruzioni”;
- D.M. LL.PP. n. 180 del 30/05/1972;
- Legge n. 1086 del 5/11/1971 “Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica”;
- D.M. 14/01/2008 “Norme tecniche per le costruzioni”, S.O. n. 30 alla G.U. n. 29 del 4/2/08 (*abbreviate nel seguito come “NTC 2008”*);
- Circolare esplicativa delle Norme Tecniche per le Costruzioni, di cui al n. 617 S.O. del n. 27 alla G.U. n. 47 del 26/2/2009 (*abbreviata nel seguito come “Circolare delle NTC 2008”*).

3. Documentazione acquisita

Il Settore Edilizia Scolastica del Comune di Torino ha messo a disposizione, come supporto per lo svolgimento delle verifiche tecniche in oggetto, la sottoelencata documentazione:

- Progetto esecutivo delle strutture, a firma degli ing. C.Emanuele CALLARI e Renato MARTELOTTA di Torino, datato 1970, che risulta però incompleto causa mancanza di alcune tavole di carpenteria e di distinte di armature;
- Progetto esecutivo delle strutture relativo alla realizzazione di scala esterna di sicurezza e setti ascensore, comprensivo di relazione illustrativa e di calcolo e relazione geotecnica, a firma dell'ing. Diego MENARDI di Torino, datato 1985.

4. Descrizione generale dell'opera

Il fabbricato che ospita attualmente la Scuola Media “Nievo” è ubicato nella circoscrizione 8 del territorio comunale della Città di Torino, con accesso principale da via Mentana n. 14.

La progettazione del fabbricato risale al 1969 circa e la sua costruzione al 1971 circa, come desumibile dalla documentazione acquisita, e la destinazione d'uso al momento della costruzione è rimasta immutata.

Si rileva che il progetto del plesso scolastico è comune con quello di altre scuole (ad es. plesso di via Bardassano).

Il plesso scolastico è formato da tre corpi di fabbrica, di pianta rettangolare, dei quali due sono destinati alle attività didattiche e uno a palestra (cfr. Allegato 1 fig. 1). I due corpi principali, denominati “corpo 1” e “corpo 2” negli elaborati di progetto, hanno piani a quote sfalsate e sono collegati da una doppia scala comune, mentre l’accesso alla palestra avviene dal corpo 2 a livello del piano terreno, tramite un porticato chiuso (cfr. Allegato 1 fig. 3-9).

L’accesso all’edificio avviene da via Mentana tramite un porticato, che conduce al corpo 1 a livello del 3° piano fuori terra.

La tipologia costruttiva, comune ai tre corpi di fabbrica, è a telai spaziali in calcestruzzo armato e solai in laterocemento, con murature perimetrali e divisori interni in mattoni; la struttura di copertura è in calcestruzzo armato.

La distribuzione interna dei locali nei due corpi principali prevede aule didattiche e servizi ai diversi piani del fabbricato, laboratori di attività varie a livello -6.50m, la centrale termica anch’essa a livello -6.50m. Al primo livello interrato (quota -4.70m) del corpo 2 è situata una sala polivalente.

E’ presente inoltre un sottotetto non accessibile per ciascuno dei due corpi principali.

Lungo il perimetro del corpo di fabbrica n. 1 è stata realizzata un’intercapedine, avente funzione di via di esodo per gli occupanti dei laboratori.

In tutti i locali ad uso didattico è stato realizzato un controsoffitto (cfr. Allegato 1 fig. 4), come misura preventiva in quanto in altra scuola di analoga tipologia costruttiva si erano riscontrati dei distacchi di intonaco e sfondellamento dei blocchi di laterizio, secondo quanto riferito dai tecnici comunali.

Nel 1985 è stata inoltre realizzata una scala esterna di sicurezza, in calcestruzzo armato, con annesso vano ascensore, strutturalmente separato dal resto della costruzione per mezzo di giunti tecnici (cfr. Allegato 1 fig. 3).

L’altezza interpiano netta dei due corpi principali, misurata dal piano di calpestio all’intradosso del controsoffitto, è pari a 3,15 m circa.

5. Descrizione delle strutture

Dall'esame della documentazione progettuale delle strutture si è potuto constatare quanto segue.

Le strutture del fabbricato sono costituite da elementi in calcestruzzo armato eseguito in opera, organizzate secondo schemi statici a telaio, con fondazioni di tipo diretto.

Per quanto riguarda i corpi di fabbrica n. 1 e n. 2, sono stati realizzati pilastri con sezione rettangolare o quadrata, di dimensioni diverse e lato minimo pari a 25 cm.

Le fondazioni sono costituite presumibilmente da plinti isolati e da muri perimetrali, su cui sorgono i pilastri di bordo. I plinti hanno base rettangolare o quadrata di dimensioni diverse, con spessore minimo di 45 cm, e poggiano su un sottofondo in magrone di spessore 30 e 40 cm.

L'armatura dei plinti, dei pilastri e dei muri controterra è costituita da barre d'acciaio di tipo Aq.50; nei pilastri sono utilizzate barre del diametro da 14 mm a 18 mm.

La struttura in elevazione è formata da pilastri e travi in spessore e fuori spessore di solaio, aventi sezioni rettangolari e a T di diverse dimensioni.

Secondo quanto indicato negli elaborati di progetto, i solai sono realizzati in laterocemento, con un'altezza dei blocchi di laterizio pari a 24 cm e 4 cm di caldana, per un totale grezzo di 28 cm. La struttura della copertura è realizzata a quattro falde simmetriche, con una soletta anche'essa in laterocemento, di spessore pari a 20+4 cm per un totale grezzo di 24 cm, poggiante su travi in calcestruzzo armato. Sarà necessario procedere ad una verifica della corrispondenza tra quanto indicato in progetto e quanto effettivamente realizzato, che verrà eseguita nella successiva Fase 2.

Dall'esame degli elaborati di progetto e dal confronto con il costruito, si rileva che nel corpo 2 i pilastri n. 24 e n. 26 nascono in falso a livello -1.10m, sostenuti ciascuno da una trave ribassata di sezione a T, avente altezza pari a 148 cm (cfr. Allegato 1 fig. 6). Analogamente, a livello del piano sottotetto (+9.60m) sempre del corpo 2, il pilastro "A" nasce in falso, per l'appoggio del colmo di copertura, scaricando le sollecitazioni su una trave rialzata a sezione ad I, avente altezza pari a 133 cm.

Per quanto riguarda la palestra, la struttura è organizzata a telai in travi e pilastri in calcestruzzo armato, poggianti su plinti di fondazione isolati.

I plinti hanno pianta quadrata o rettangolare, con altezze diverse, da 40 a 80 cm, su sottofondo di magrone. Il solaio del piano terra (-5.25m) è realizzato in laterocemento con spessore 24+4 cm, mentre il solaio di copertura è sempre in laterocemento ma con spessore 20+4 cm. Ad entrambi i livelli di solaio, i telai sono disposti "a stella" rispetto al pilastro centrale P5, oltre che secondo le

direzioni ortogonali ai due assi principali (cfr. Allegato 1 fig.7). Le travi sono sia in spessore sia fuori spessore di solaio (cfr. Allegato 1 fig.8). La copertura della palestra è disposta a quattro falde simmetriche, mentre ad un livello inferiore è posta la copertura dei locali destinati a servizi igienici e spogliatoi.

Il porticato di accesso al plesso scolastico, da via Mentana, è strutturalmente costituito da un solaio in laterocemento, di spessore presunto di 24+4 cm, sostenuto da due setti in calcestruzzo armato di larghezza variabile e spessore pari a 40 cm. La copertura dell'accesso è anch'essa in laterocemento con spessore 20+4 cm e travi in spessore di solaio.

La scala esterna di sicurezza, in calcestruzzo armato, è stata realizzata in data successiva ed è provvista di certificato di collaudo (cfr. Documentazione acquisita); considerata inoltre la presenza di giunti strutturali di separazione tra la scala stessa e le opere preesistenti, non sarà oggetto di verifica nella presente relazione

Gli elaborati grafici di supporto alle verifiche sono riprodotti nell'Allegato 2 alla presente relazione.

6. Analisi del quadro fessurativo e delle criticità riscontrate

Durante i sopralluoghi del 13 maggio e 1 giugno 2010, l'indagine visiva ha evidenziato i seguenti aspetti:

- Non appaiono ad occhio nudo fessurazioni significative negli elementi strutturali;
- Ci sono tracce di un'infiltrazione d'acqua nei servizi igienici del corpo 1 livello +4.30m (cfr. All.1 fig. 11);
- Ci sono fessurazioni nelle tramezzature interne, in diversi punti del fabbricato (cfr. All.1 fig. 13);
- Si riscontra una rottura localizzata della muratura esterna in mattoni, in corrispondenza del solaio a livello -2.90m del corpo 1, vicino al pilastro P10, presumibilmente dovuto all'eccessiva compressione derivante dall'inflessione della mensola che prolunga la trave T 123, che è a contatto con la muratura suddetta (cfr. All.1 fig. 12);
- Le strutture del porticato di accesso sono interessate da fenomeni di degrado, che si manifestano con l'espulsione del copriferro in più punti e la presenza di ferri d'armatura non più legati al calcestruzzo (cfr. All.1 fig. 14), nonché con lo sfondellamento dei blocchi di laterizio in alcuni punti (cfr. All.1 fig. 15).

In questa fase di verifica, non è stato possibile ispezionare visivamente le condizioni dei solai dei corpi 1 e 2, in quanto è presente un controsoffitto in tutti i locali, ad eccezione dei servizi igienici. Questo aspetto, che costituisce al momento un elemento di incertezza nella valutazione generale della sicurezza del fabbricato, sarà oggetto di indagine nella fase successiva dei lavori.

7. Criteri di analisi svolta al calcolatore

L'analisi della struttura avviene mediante la modellazione spaziale della stessa con gli elementi finiti, al fine di valutare la resistenza degli elementi nella loro configurazione reale, utilizzando il metodo delle tensioni ammissibili (per le verifiche secondo normativa originaria) e degli stati limite (per le verifiche con NTC 2008).

Il programma di calcolo utilizzato è denominato "AxisVM" versione 7, prodotto dalla Inter-CAD Kft., Ungheria e distribuito in Italia dalla S.T.A. DATA S.r.l. di Torino.

L'analisi strutturale viene condotta in campo lineare e considerando il materiale perfettamente elastico. La schematizzazione del sistema resistente è a telaio spaziale, con travi e pilastri mutuamente incastrati (nodi rigidi) e caricati dagli orizzontamenti.

Nelle figure seguenti sono rappresentati i modelli strutturali agli elementi finiti relativi ad uno dei corpi scuola e alla palestra.

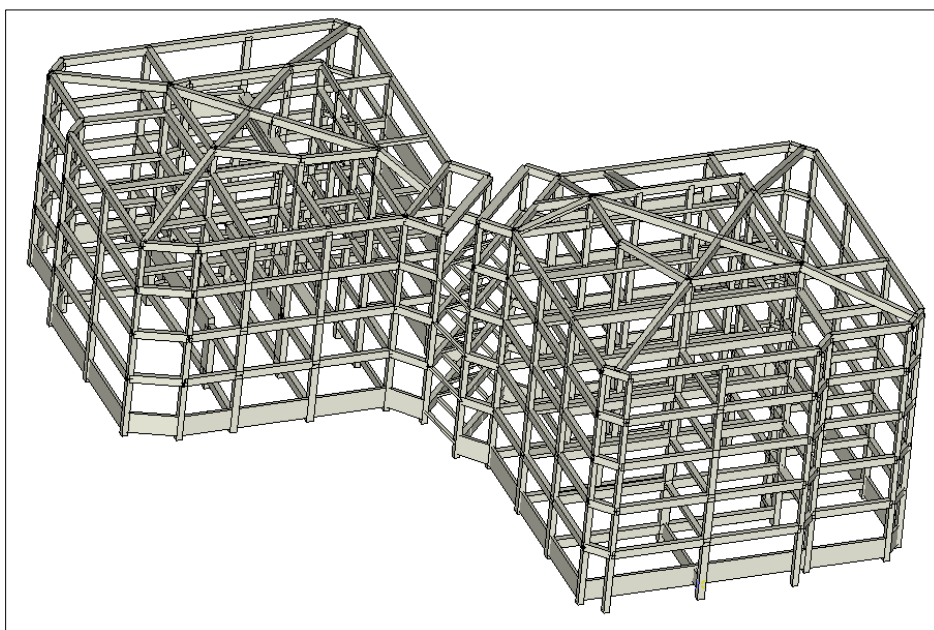


Figura 1 - Modello ad elementi finiti dei due corpi scuola

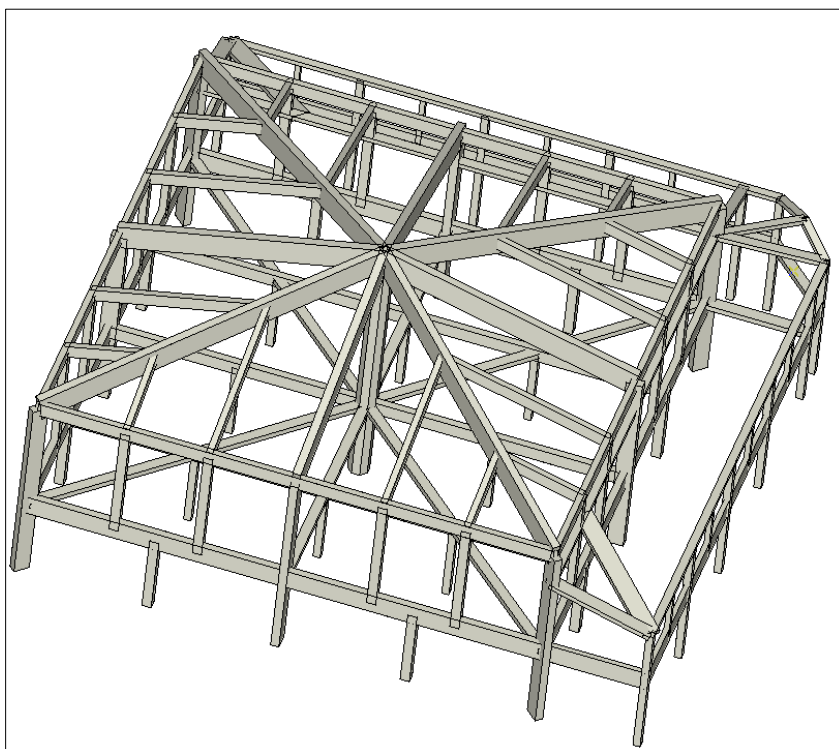


Figura 2 - Modello ad elementi finiti della palestra

8. Analisi strutturale secondo normativa originaria

Sulla base della data di stesura del progetto esecutivo delle strutture e dall'analisi della normativa storica sulle costruzioni, si desume che la normativa in vigore al momento della costruzione del fabbricato era la seguente:

- Per il calcestruzzo armato: R.D. n. 2229 del 1939;
- Per l'acciaio d'armatura: Circ.LL.PP. n. 1547 del 1965;
- Per le azioni sulle costruzioni: UNI CNR 10012/67

8.1. Criteri generali di analisi e di verifica

Nel rispetto della normativa originaria sopra riportata, la struttura è stata verificata con il metodo delle tensioni ammissibili. La sicurezza è pertanto valutata confrontando le sollecitazioni agenti negli elementi strutturali con i valori di tensione ammissibile fissata per l'acciaio e il calcestruzzo.

Le verifiche sono condotte in funzione delle informazioni derivanti unicamente dagli elaborati di progetto acquisiti; si rende pertanto necessario, nella Fase 2 di verifica, procedere ad una verifica in situ a campione sulla geometria e l'armatura effettivamente disposta.

8.2. Caratteristiche dei materiali

Come specificato nel capitolo introduttivo, non sono disponibili in questa fase di verifica i certificati di prova sulle resistenze meccaniche dei materiali di uso strutturale. Di conseguenza, le caratteristiche dei materiali sono state ipotizzate sulla base di quanto indicato negli elaborati di progetto, conformemente alla normativa dell'epoca.

Si pone evidenza sul fatto che risulta necessario verificare che l'acciaio indicato nel progetto strutturale, del tipo A.L.E. (ad alto limite elastico) e caratterizzato da elevate prestazioni meccaniche, sia stato effettivamente impiegato per la realizzazione degli elementi in opera..

CALCESTRUZZO		
Tipo di cemento	-	42,5
Classe di resistenza R_{ck}	N/mm ²	30
Tensione ammissibile $\sigma_{c,amm}$	N/mm ²	8.33
Modulo elastico normale (E_{cm})	N/mm ²	31177
Modulo elastico tangenziale (G_{cm})	N/mm ²	13555
Coefficiente di Poisson ν	-	0.15
Peso specifico calcestruzzo armato	kN/m ³	25

ACCIAIO (travi e travetti)		
Tipo	-	A.L.E.
Tensione ammissibile $\sigma_{s,amm}$	N/mm ²	440
Modulo elastico normale (E_{sm})	N/mm ²	210000
Modulo elastico tangenziale (G_{sm})	N/mm ²	67600
Coefficiente di Poisson ν	-	0.15
Peso specifico	kN/m ³	78.5
Coefficiente di omogeneizzazione n	-	10

ACCIAIO (plinti-muri-pilastr)		
Tipo	-	Aq50
Tensione ammissibile $\sigma_{s,amm}$	N/mm ²	160
Modulo elastico normale (E_{sm})	N/mm ²	210000
Modulo elastico tangenziale (G_{sm})	N/mm ²	67600
Coefficiente di Poisson ν	-	0.15
Peso specifico	kN/m ³	78.5
Coefficiente di omogeneizzazione n	-	10

Terreno di sottosuolo

Le caratteristiche del terreno di sottosuolo per il sito in esame sono deducibili dalla relazione geologica-tecnica effettuata in occasione della costruzione della scala di sicurezza (cfr. Documentazione acquisita). Infatti, nella relazione sopra citata viene stabilito che il piano di imposta delle fondazioni delle nuove opere dovrà essere alla stessa quota, o inferiore, delle opere preesistenti.

In tale relazione si descrive lo strato di terreno a partire da 2m sotto il piano di campagna come “ghiaioso-sabbioso”, con assenza di falda.

Per quanto riguarda la capacità portante, in sede di progetto della scala di sicurezza fu adottato un valore di portata ammissibile del terreno q_{amm} pari a 200 kPa.

8.3. Analisi dei carichi

Ai fini delle verifiche, le azioni variabili che si manifestano sulla struttura sono valutate in riferimento ai valori nominali, individuati dalle norme UNI CNR 10012/67 per la pertinente destinazione d'uso, mentre le azioni permanenti proprie e portate sono poste uguali a quanto indicato negli elaborati di progetto. Le tabelle seguenti riassumono i valori utilizzati:

Solai interpiano corpi 1 e 2

Carichi permanenti

Solaio in laterocemento (24+4)	kN/m ²	3.20
Permanenti portati (pavimentazione, sottofondi)	kN/m ²	2.30
Totale	kN/m ²	5.50

Carichi variabili

Carico variabile (aule scolastiche)	kN/m ²	4.00
Totale	kN/m ²	9.50

Solaio piano sottotetto non accessibile

Carichi permanenti

Solaio in laterocemento (24+4)	kN/m ²	3.20
Permanenti portati (pavimentazione, sottofondi)	kN/m ²	2.30
Totale	kN/m ²	5.50

Carichi variabili

Carico variabile (non accessibile)	kN/m ²	1.00
Totale	kN/m ²	6.50

Copertura corpi 1 e 2

Carichi permanenti

Solaio in laterocemento (20+4)	kN/m ²	2.80
Permanenti portati (rivestimento, tegole)	kN/m ²	2.30
Totale	kN/m ²	5.10

Carichi variabili

Carico variabile (neve)	kN/m ²	0.90
Totale	kN/m ²	6.00

Solaio calpestio palestra

Carichi permanenti

Solaio in laterocemento (24+4)	kN/m ²	3.20
Permanententi portati (pavimentazione, sottofondi)	kN/m ²	2.30
Totale	kN/m ²	5.50

Carichi variabili

Carico variabile (palestra)	kN/m ²	5.00
Totale	kN/m ²	10.50

Copertura palestra

Carichi permanenti

Solaio in laterocemento (20+4)	kN/m ²	2.80
Permanententi portati (rivestimento, tegole)	kN/m ²	2.30
Totale	kN/m ²	5.10

Carichi variabili

Carico variabile (neve)	kN/m ²	0.90
Totale	kN/m ²	6.00

8.4. Analisi delle sollecitazioni e verifica elementi

I dati completi di input e di output, inclusi i valori di sollecitazione sugli elementi, sono riportati in Allegato 4 (solo nella versione su supporto informatico); nel seguito si riportano invece i dettagli delle verifiche svolte su alcuni elementi, selezionati tra quelli più significativi.

Si ribadisce che le verifiche sono condotte in funzione delle sole informazioni disponibili dagli elaborati esecutivi di progetto, non essendo stata ancora effettuata la campagna di indagini e prove conoscitive in progetto, per la necessaria verifica di corrispondenza tra progettato e costruito.

Nota: negli elaborati strutturali acquisiti, è indicato l'impiego di acciaio A.L.E. per le armature longitudinali delle travi e di acciaio tipo Aq.50 per le staffe.

Le verifiche sono state effettuate sui sottoelencati elementi:

Verifica di elementi dei corpi 1 e 2

Trave **T.151** - sezione 60/40x57 - corpo 2 livello +6.10m

da progetto esecutivo: Armatura in mezzeria: $A_{sup} = 2\phi 8 + 4\phi 10$

	$A_{inf} = 2\phi 14 + 2\phi 16 + 2\phi 18$
Armatura in estremità:	$A_{sup} = 4\phi 14 + 4\phi 16 + 2\phi 8 + 4\phi 10$
	$A_{inf} = 2\phi 18$
Armatura a taglio:	Staffe $\phi 8/20$ doppie
Momento flettente sollecitante (max negativo):	$M_{s,-} = -177$ kNm
Momento flettente resistente (negativo):	$M_{R,-} = -197$ kNm
	--> $ M_{R,-} > M_{s,-} $ verifica soddisfatta
	$\sigma_c = 7.64$ N/mm ² < $\sigma_{s,adm}$ (= 8.33 N/mm ²)
	$\sigma_s = 197$ N/mm ² < $\sigma_{s,adm}$ (= 440 N/mm ²)
Momento flettente sollecitante (max positivo):	$M_{s,+} = 66$ kNm
Momento flettente resistente (positivo):	$M_{R,+} = 213$ kNm
	--> $ M_{R,+} > M_{s,+} $ verifica soddisfatta
	$\sigma_c = 2.63$ N/mm ² < $\sigma_{s,adm}$ (= 8.33 N/mm ²)
	$\sigma_s = 107$ N/mm ² < $\sigma_{s,adm}$ (= 440 N/mm ²)
Taglio sollecitante massimo:	$V_s = 147$ kN
$\tau_c = 0.74$ N/mm ² > τ_{c0} (= 0.60)	richiesta armatura a taglio
Si affida alle staffe una percentuale di sforzo tagliante non inferiore al 40 % (da Norma)	
--> $V_{staffe,resist} = 105$ kN > $V_{staffe,min}$ (40% di 147 = 59 kN)	verifica soddisfatta

Trave **T.146** - sezione 60x28 - corpo 2 livello +2.50m

da progetto esecutivo:	Armatura in mezzeria:	$A_{sup} = 2\phi 12$
		$A_{inf} = 2\phi 12 + 8\phi 18$
	Armatura in estremità:	$A_{sup} = 4\phi 12 + 2\phi 16 + 5\phi 18$
		$A_{inf} = 2\phi 12 + 3\phi 18$
	Armatura a taglio:	Staffe $\phi 10/20$ doppie (in estremità su P26)

Nota: in estremità, lato pilastro P26, la sezione ha larghezza 80 cm anziché 60 cm.

Momento flettente sollecitante (max negativo):	$M_{s,-} = -107$ kNm
Momento flettente resistente (negativo):	$M_{R,-} = -116$ kNm
	--> $ M_{R,-} > M_{s,-} $ verifica soddisfatta
	<u>verifica non soddisfatta</u>
	$\sigma_c = 9.02$ N/mm ² > $\sigma_{s,adm}$ (= 8.33 N/mm ²)
	$\sigma_s = 219$ N/mm ² < $\sigma_{s,adm}$ (= 440 N/mm ²)

Si rileva dunque che il tasso di lavoro lato calcestruzzo è superiore ai limiti di Norma. L'elemento in questione sarà dunque oggetto di successivi approfondimenti, da eseguirsi con la campagna di indagini conoscitive della Fase 2, per valutare la geometria e l'armatura effettivamente disposta.

Momento flettente sollecitante (max positivo):	$M_{s,+} = 64$ kNm
Momento flettente resistente (positivo):	$M_{R,+} = 78$ kNm
	--> $ M_{R,+} > M_{s,+} $ verifica soddisfatta
	$\sigma_c = 6.99$ N/mm ² < $\sigma_{s,adm}$ (= 8.33 N/mm ²)
	$\sigma_s = 127$ N/mm ² < $\sigma_{s,adm}$ (= 440 N/mm ²)
Taglio sollecitante massimo:	$V_s = 124$ kN

$$\tau_c = 0.88 \text{ N/mm}^2 > \tau_{c0} (= 0.60) \quad \text{staffe richieste}$$

$$\sigma_{s,\text{staffe}} = 337 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{s,\text{adm}} \quad \text{verifica soddisfatta}$$

Travetto **S.111** - corpo 2 livello +2.50m - luce netta = 7.5 m

da progetto esecutivo: Armatura in mezzeria: $A_{\text{sup}} = 0$
 $A_{\text{inf}} = 1\phi 16 + 1\phi 18$

Armatura in estremità: $A_{\text{sup}} = 1\phi 16 + 1\phi 18$
 $A_{\text{inf}} = 1\phi 16$

Momento flettente sollecitante (max positivo): $M_{s,+} = 29 \text{ kNm}$
 Momento flettente resistente (positivo): $M_{R,+} = 19 \text{ kNm}$
 $\rightarrow |M_{R,+}| > |M_{s,+}|$ **verifica soddisfatta**

$$\sigma_c = 7.62 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{s,\text{adm}} (= 8.33 \text{ N/mm}^2)$$

$$\sigma_s = 265 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{s,\text{adm}} (= 440 \text{ N/mm}^2)$$

Trave di sostegno **P24** - sezione 45/135x148 - corpo 2 livello -1.10m

da progetto esecutivo: Armatura in mezzeria: $A_{\text{sup}} = 4\phi 12 + 2\phi 20$
 $A_{\text{inf}} = (7+7+7)\phi 22$
 $A_{\text{pelle}} = (4+4)\phi 14 + (2+2)\phi 12$

Armatura in estremità: $A_{\text{sup}} = 17\phi 20 + 5\phi 22$
 $A_{\text{inf}} = (7+7+7)\phi 22$

Armatura a taglio: Staffe $\phi 14/25$ (acciaio A.L.E.)

Momento flettente sollecitante (max negativo): $M_{s,-} = -1487 \text{ kNm}$
 Momento flettente resistente (negativo): $M_{R,-} = -2782 \text{ kNm}$
 $\rightarrow |M_{R,-}| > |M_{s,-}|$ **verifica soddisfatta**

$$\sigma_c = 5.21 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{s,\text{adm}} (= 8.33 \text{ N/mm}^2)$$

$$\sigma_s = 143 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{s,\text{adm}} (= 440 \text{ N/mm}^2)$$

Momento flettente sollecitante (max positivo): $M_{s,+} = 2692 \text{ kNm}$
 Momento flettente resistente (positivo): $M_{R,+} = 3508 \text{ kNm}$
 $\rightarrow |M_{R,+}| > |M_{s,+}|$ **verifica soddisfatta**

$$\sigma_c = 7.48 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{s,\text{adm}} (= 8.33 \text{ N/mm}^2)$$

$$\sigma_s = 261 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{s,\text{adm}} (= 440 \text{ N/mm}^2)$$

Taglio sollecitante massimo: $V_s = 1829 \text{ kN}$
 $\tau = 2.03 \text{ N/mm}^2 > \tau_{c0} (= 0.60)$
**la sezione non risulta adeguata a
 sopportare lo sforzo di taglio**

Il valore del taglio agente V_s , ricavato dall'analisi al calcolatore, è molto elevato ed è dovuto alla presenza del pilastro P24 che nasce in falso sulla trave stessa. Dal momento che la trave non risulta verificata a taglio, si dovranno eseguire indagini specifiche (in Fase 2) per individuare la reale quantità di armatura resistente a taglio (staffe e ferri piegati) disposta, nonché l'insorgenza di eventuali fessurazioni indicanti il superamento della capacità resistente della trave.

Trave **T.165** - sezione assimilata a rettangolare 35x100 - corpo 2 livello +9.60m

da progetto esecutivo:	Armatura in mezzeria:	$A_{sup} = 9\phi 8 + 3\phi 6$ $A_{inf} = 11\phi 20$
	Armatura in estremità:	$A_{sup} = 7\phi 20 + 9\phi 8 + 3\phi 6$ $A_{inf} = 5\phi 20$
	Armatura a taglio:	Staffe $\phi 14/12.5$
Momento flettente sollecitante (max negativo):	$M_{s,-}$	= -310 kNm
Momento flettente resistente (negativo):	$M_{R,-}$	= -639 kNm
		--> $ M_{R,-} > M_{s,-} $ <u>verifica soddisfatta</u>
$\sigma_c = 4.32 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{s,adm} (=8.33 \text{ N/mm}^2)$		
$\sigma_s = 127 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{s,adm} (=440 \text{ N/mm}^2)$		
Momento flettente sollecitante (max positivo):	$M_{s,+}$	= 189 kNm
Momento flettente resistente (positivo):	$M_{R,+}$	= 635 kNm
		--> $ M_{R,+} > M_{s,+} $ <u>verifica soddisfatta</u>
$\sigma_c = 2.86 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{s,adm} (=8.33 \text{ N/mm}^2)$		
$\sigma_s = 64 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{s,adm} (=440 \text{ N/mm}^2)$		
Taglio sollecitante massimo:	V_s	= 193 kN
$\tau_c = 0.63 \text{ N/mm}^2 > \tau_{c0} (=0.60)$		<u>staffe richieste</u>
$\sigma_{s,staffe} = 89 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{s,adm}$		<u>verifica soddisfatta</u>

Pilastro **P5** - sezione 40x50 - corpo 2

da progetto esecutivo:	Armatura sez. corrente:	$A_s = 4\phi 18 + 2\phi 16$
	Armatura a taglio:	Staffe $\phi 6/20$
Sforzo normale sollecitante (max):	N	= -1460 kN
Area sezione omogenea:	A_{om}	= 214170 mm ²
Massima tensione di compressione nel cls:	σ_c	= -6.8 N/mm ² < $\sigma_{s,adm} (=8.33 \text{ N/mm}^2)$ <u>verifica soddisfatta</u>

Pilastro **P25** - sezione 45x90 - corpo 2

da progetto esecutivo:	Armatura sez. corrente:	$A_s = 8\phi 16$
	Armatura a taglio:	Staffe $\phi 6/20$
Sforzo normale sollecitante (max):	N	= -2801 kN
Area sezione omogenea:	A_{om}	= 421080 mm ²
Massima tensione di compressione nel cls:	σ_c	= -6.6 N/mm ² < $\sigma_{s,adm} (=8.33 \text{ N/mm}^2)$ <u>verifica soddisfatta</u>

Plinto del pilastro **P25** - base 145x225 cm - sottoplinto 200 x 270 cm

Sforzo normale sollecitante (al piede):	N	= -2801 kN
Peso proprio plinto+sottoplinto:	N_{pl}	= 105 kN
Area sezione di base:	A	= 5.4 m ²
Sollecitazione sul terreno:	σ_t	= -5.38 kN/m ² > $\sigma_{t,adm} (2 \text{ kN/m}^2)$ <u>verifica non soddisfatta</u>

Verifica di elementi del corpo palestra

Trave **TP3** - sezione 35/65x68 - corpo palestra livello -5.25m

da progetto esecutivo:	Armatura in mezzeria:	$A_{sup} = 2\phi 10$ $A_{inf} = 5\phi 18 + 2\phi 16$
	Armatura in estremità:	$A_{sup} = 8\phi 18 + 2\phi 10$ $A_{inf} = 2\phi 16 + 2\phi 18$
	Armatura a taglio:	Staffe $\phi 10/15$
Momento flettente sollecitante (max negativo):	$M_{s,-}$	= -221 kNm
Momento flettente resistente (negativo):	$M_{R,-}$	= -320 kNm
	--> $ M_{R,-} > M_{s,-} $	verifica soddisfatta
$\sigma_c = 6.72 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{s,adm} (= 8.33 \text{ N/mm}^2)$		
$\sigma_s = 170 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{s,adm} (= 440 \text{ N/mm}^2)$		
Momento flettente sollecitante (max positivo):	$M_{s,+}$	= 120 kNm
Momento flettente resistente (positivo):	$M_{R,+}$	= 368 kNm
	--> $ M_{R,+} > M_{s,+} $	verifica soddisfatta
$\sigma_c = 3.17 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{s,adm} (= 8.33 \text{ N/mm}^2)$		
$\sigma_s = 120 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{s,adm} (= 440 \text{ N/mm}^2)$		
Taglio sollecitante massimo:	V_s	= 212 kN
$\tau_c = 1.20 \text{ N/mm}^2 > \tau_{c0} (= 0.60)$		staffe richieste
$\sigma_{s,staffe} = 325 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{s,adm}$		verifica soddisfatta

Trave **TP1B** - sezione 35x100 - corpo palestra livello -5.25m

da progetto esecutivo:	Armatura in mezzeria:	$A_{sup} = 2\phi 14$ $A_{inf} = 4\phi 18 + 4\phi 16$
	Armatura in estremità:	$A_{sup} = 3\phi 18 + 4\phi 16 + 2\phi 14$ $A_{inf} = 4\phi 18$
	Armatura a taglio:	Staffe $\phi 10/20$
Momento flettente sollecitante (max negativo):	$M_{s,-}$	= -503 kNm
Momento flettente resistente (negativo):	$M_{R,-}$	= -575 kNm
	--> $ M_{R,-} > M_{s,-} $	verifica soddisfatta
$\sigma_c = 8.32 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{s,adm} (= 8.33 \text{ N/mm}^2)$		
$\sigma_s = 298 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{s,adm} (= 440 \text{ N/mm}^2)$		
Momento flettente sollecitante (max positivo):	$M_{s,+}$	= 216 kNm
Momento flettente resistente (positivo):	$M_{R,+}$	= 505 kNm
	--> $ M_{R,+} > M_{s,+} $	verifica soddisfatta
$\sigma_c = 4.17 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{s,adm} (= 8.33 \text{ N/mm}^2)$		
$\sigma_s = 134 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{s,adm} (= 440 \text{ N/mm}^2)$		
Taglio sollecitante massimo:	V_s	= 415 kN
$\tau_c = 1.34 \text{ N/mm}^2 > \tau_{c0} (= 0.60)$		richiesta armatura a taglio
Si affida alle staffe una percentuale di sforzo tagliante non inferiore al 40% (da Norma)		
--> $V_{staffe,resist} = 185 \text{ kN} > V_{staffe,min} (40\% \text{ di } 415 = 166 \text{ kN})$		verifica soddisfatta

Pilastro **P2** - sezione 40x80

da progetto esecutivo:	Armatura sez. corrente:	$A_s = (6+6)\phi 20$
	Armatura a taglio:	Staffe $\phi 8/20$
Sforzo normale sollecitante (max):		$N = -974$ kN
Area sezione omogenea:		$A_{om} = 357680$ mm ²
Massima tensione di compressione nel cls:		$\sigma_c = -2.7$ N/mm ² < $\sigma_{s,adm} (=8.33$ N/mm ²) verifica soddisfatta

Verifica di elementi della passerella di ingresso

Trave **T.7** - sezione 70x24 - copertura

da progetto esecutivo:	Armatura in mezzeria:	$A_{sup} = 2\phi 8 + 2\phi 12$ $A_{inf} = 3\phi 18 + 2\phi 10$
	Armatura in estremità:	$A_{sup} = 2\phi 18 + 2\phi 12 + 2\phi 8$ $A_{inf} = 3\phi 18 + 2\phi 10$
	Armatura a taglio:	Staffe $\phi 8/25$ doppie
Momento flettente sollecitante (max assoluto):	M_s	= 33.3 kNm
Momento flettente resistente (assoluto):	M_R	= 61 kNm
		--> $ M_R > M_s $ verifica soddisfatta
	$\sigma_c = 5.3$ N/mm ²	< $\sigma_{s,adm} (=8.33$ N/mm ²)
	$\sigma_s = 200$ N/mm ²	< $\sigma_{s,adm} (=440$ N/mm ²)
Taglio sollecitante massimo:	V_s	= 35.3 kN
$\tau_c = 0.25$ N/mm ²	< $\tau_{c0} (=0.60)$	staffe non richieste

Alcuni degli elementi sopra individuati risultano essere non verificati, ai sensi della normativa dell'epoca, e nello specifico sono:

- la trave T146, in cui la sollecitazione del calcestruzzo risulta leggermente superiore alla tensione ammissibile di Norma;
- la trave di sostegno del pilastro P24, il quale nasce in falso sulla stessa e produce uno sforzo tagliante molto elevato e non sopportato dalla sezione della trave in oggetto;
- Il plinto di fondazione del pilastro P25, in quanto la pressione sul terreno esercitata è notevolmente superiore al valore di tensione ammissibile ipotizzato.

Per l'approfondimento sulle problematiche riscontrate e la validazione di tutti i risultati sopra esposti sono però necessari dei riscontri sull'effettiva corrispondenza tra progettato e costruito, in termini di geometria ed armatura degli elementi strutturali; tali riscontri verranno eseguiti con la campagna di indagini e prove prevista nella seconda fase di verifiche (Fase 2).

9. Valutazione della sicurezza secondo normativa attuale (NTC 2008)

Ai sensi della normativa tecnica vigente (NTC 2008), la valutazione della sicurezza delle costruzioni esistenti dovrà essere condotta nel rispetto degli stati limite ultimi, nella combinazione relativa allo stato di salvaguardia della vita umana (SLV) o allo stato di collasso (SLC); nella presente relazione, la verifica è condotta nei confronti dello SLV.

Non sono contemplate invece, per la finalità delle presenti verifiche statiche, le azioni di tipo sismico.

L'analisi storico-critica del fabbricato è descritta nel capitolo 3, mentre il rilievo geometrico-strutturale, eseguito in occasione dei sopralluoghi alle opere, è sintetizzato negli elaborati grafici allegati alla presente relazione (Allegato 2).

La Normativa prevede che, sulla base delle informazioni già disponibili e dei risultati della campagna di prove in progetto, il livello di conoscenza *raggiungibile* per la struttura in esame si classifichi come "adeguato" o LC2.

Nelle presenti verifiche preliminari si adotta il medesimo livello di conoscenza, sebbene non siano ancora state eseguite le verifiche in situ e le prove previste nella Fase 2.

Il livello di conoscenza adottato è definito dagli aspetti sotto elencati:

Geometria: è nota in base ai disegni originali (cfr. Documentazione acquisita). E' stato quindi condotto un rilievo visivo a campione per la verifica della corrispondenza tra il costruito e i disegni stessi. L'individuazione di alcuni elementi strutturali è stata svolta in modo indiretto con l'ausilio di un pacometro mod. Profometer 5/S della PROCEQ S.A., Svizzera, non essendo consentito in questa fase operare una rimozione dell'intonaco presente.

Dettagli costruttivi: i dettagli sono parzialmente noti dagli elaborati esecutivi delle strutture. Secondo la Normativa attuale (cfr. Tab. C8A.1.2 della Circolare), in questa configurazione sono richieste *limitate verifiche in-situ*, effettuando un rilievo dei dettagli costruttivi sul 15% del totale degli elementi strutturali primari. Tali rilievi saranno oggetto di una specifica campagna di indagini conoscitive, da eseguirsi nella seconda fase di verifica.

Proprietà dei materiali: le informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali sono desunte dalle indicazioni riportate sugli elaborati esecutivi delle strutture.

Secondo la Normativa attuale (cfr. Tab. C8A.1.2 della Circolare), sono quindi richieste *limitate prove in-situ*, nella misura di 1 provino di calcestruzzo per 300 m² di solaio e di 1 campione di armatura per piano dell'edificio.

Tali prove saranno oggetto di una specifica campagna di indagini conoscitive, da eseguirsi nella seconda fase di verifica.

Il fattore di confidenza (FC) corrispondente al livello di conoscenza adottato è pari a **1.20** (cfr. Tab. C8A.1.2 della Circolare).

9.1. Criteri generali di analisi e di verifica

Vita nominale, classe d'uso e periodo di riferimento

L'edificio in progetto rientra tra le opere di importanza normale (NTC Tabella 2.4.I), per cui la vita nominale è pari a $V_N \geq 50$ anni. La classe d'uso è invece determinata come Classe III, in quanto si tratta di edifici scolastici, come precisato nelle Istruzioni alle NTC al § 2.4.2.

Di conseguenza, il periodo di riferimento è pari a $V_R \geq 75$ anni.

Combinazione delle azioni

Per la verifica allo Stato Limite Ultimo (SLV):
Valori dei coefficienti di combinazione adottati:

$$\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Categoria	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
C.1 (scuole)	0.7	0.7	0.6
Vento	0.6	0.2	0.0
Neve	0.5	0.2	0.0

I coefficienti parziali di sicurezza per le azioni sono derivati dalle NTC - Tabella 2.6.I e sono pari a:

$$\begin{aligned} \gamma_{g1} &= 1.3 \\ \gamma_{g2} &= 1.5 \\ \gamma_q &= 1.5 \end{aligned}$$

9.2. Caratteristiche dei materiali

Dove non specificato diversamente, si fa riferimento ai valori riportati nel capitolo precedente relativo alle verifiche secondo la normativa dell'epoca di costruzione.

Prove sclerometriche

E' stata condotta una campagna di prove non distruttive sul calcestruzzo, con l'uso di sclerometro tipo Schmidt, su un numero di elementi scelti a campione, effettuando n. 10 battute per ciascuno di essi. I risultati delle singole prove sono indicati in Allegato 3, mentre nel seguito si riporta il valore della resistenza media caratteristica $R_{ck,m}$ ottenuto da tali prove.

$$R_{ck,m} = 36 \text{ N/mm}^2$$

Dal momento che il valore ottenuto è superiore a quello di progetto, si può ipotizzare in questa fase di verifiche che la resistenza del calcestruzzo in opera sia effettivamente congruente a quanto prescritto in sede progettuale. D'altra parte, poiché le prove sclerometriche su un calcestruzzo invecchiato conducono generalmente ad una sovrastima della resistenza effettiva del materiale, si ipotizza appunto, come resistenza di riferimento R_{ck} per le verifiche, il valore indicato negli elaborati di progetto.

CALCESTRUZZO		
Resistenza media caratteristica di riferimento $R_{ck,m}$	N/mm ²	30
Resistenza media caratteristica $f_{c,m}$	N/mm ²	24.9
Coefficiente parziale di sicurezza γ_c	-	1.5
Resistenza di calcolo $f_{cd,LC}$	N/mm ²	11.76
Modulo elastico normale (E _{cm} /FC)	N/mm ²	25167
Modulo elastico tangenziale (G _{cm} /FC)	N/mm ²	10942
Coefficiente di Poisson ν	-	0.15
Peso specifico calcestruzzo armato	kN/m ³	25

ACCIAIO (travi e travetti)		
Tipo	-	A.L.E.
f_{yk}	N/mm ²	440
Coefficiente parziale di sicurezza γ_s	-	1.15
$f_{yd,LC}$	N/mm ²	319
Modulo elastico normale (E _{sm} /FC)	N/mm ²	175000
Modulo elastico tangenziale (G _{sm} /FC)	N/mm ²	67600
Coefficiente di Poisson ν	-	0.15
Peso specifico	kN/m ³	78.5

ACCIAIO (plinti-muri-pilastrini)		
Tipo	-	Aq.50
f_{yk}	N/mm ²	230
Coefficiente parziale di sicurezza γ_s	-	1.15
$f_{yd,LC}$	N/mm ²	167
Modulo elastico normale (E _{sm} /FC)	N/mm ²	175000
Modulo elastico tangenziale (G _{sm} /FC)	N/mm ²	76087
Coefficiente di Poisson ν	-	0.15
Peso specifico	kN/m ³	78.5

Terreno di sottosuolo

Sulla base della relazione geotecnica a disposizione (cfr. Documentazione acquisita), ai fini delle verifiche strutturali sono stati ipotizzati i seguenti parametri geotecnici, definiti dalle NTC secondo il metodo agli stati limite e riferiti al terreno alla quota di posa delle fondazioni:

Combinazione delle azioni: Approccio 2		(A1+M1+R3)
Angolo di attrito di progetto ϕ'_d		35°
Coesione efficace di progetto c'_d	kPa	0
Densità di progetto γ_d	kN/m ³	19
Fattore di sicurezza γ_M		2.3

9.3. Analisi dei carichi

Ai fini delle verifiche, le azioni che si manifestano sulla struttura sono valutate in riferimento al raggiungimento dello stato limite ultimo (SLV), nella combinazione indicata in precedenza.

I carichi nominali sono in parte desunti dai valori di progetto dichiarati negli elaborati acquisiti e in parte derivanti da normativa; le tabelle seguenti riassumono i valori utilizzati:

Solai interpiano corpi 1 e 2

Carichi permanenti G_k

Solaio in laterocemento (24+4)	kN/m ²	3.20
Permanenti portati (pavimentazione, sottofondi)	kN/m ²	2.30
Totale G_k	kN/m ²	5.50

Carichi variabili Q_k

Carico variabile (cat. C1 scuole)	kN/m ²	3.00
Totale $G_k + Q_k$	kN/m ²	8.50

Solaio piano sottotetto non accessibile

Carichi permanenti G_k

Solaio in laterocemento (24+4)	kN/m ²	3.20
Permanenti portati (pavimentazione, sottofondi)	kN/m ²	2.30
Totale G_k	kN/m ²	5.50

Carichi variabili Q_k

Carico variabile (cat. H1)	kN/m ²	0.50
Totale $G_k + Q_k$	kN/m ²	6.00

Copertura corpi 1 e 2

Carichi permanenti G_k

Solaio in laterocemento (20+4)	kN/m ²	2.80
--------------------------------	-------------------	------

Permanenti portati (rivestimento, tegole)	kN/m ²	2.30
Totale G_k	kN/m ²	5.10
Carichi variabili Q_k		
Carico variabile (neve)	kN/m ²	1.35
Totale G_k + Q_k	kN/m ²	6.45
<i>Solaio calpestio palestra</i>		
Carichi permanenti		
Solaio in laterocemento (24+4)	kN/m ²	3.20
Permanenti portati (pavimentazione, sottofondi)	kN/m ²	2.30
Totale	kN/m ²	5.50
Carichi variabili		
Carico variabile (cat. C3 palestre)	kN/m ²	5.00
Totale	kN/m ²	10.50
<i>Copertura palestra</i>		
Carichi permanenti G_k		
Solaio in laterocemento (20+4)	kN/m ²	2.80
Permanenti portati (rivestimento, tegole)	kN/m ²	2.30
Totale G_k	kN/m ²	5.10
Carichi variabili Q_k		
Carico variabile (neve)	kN/m ²	1.35
Totale G_k + Q_k	kN/m ²	6.45

9.4. Analisi delle sollecitazioni e verifica elementi

I dati completi di input e di output, inclusi i valori di sollecitazione sugli elementi, sono riportati in Allegato 4 (solo nella versione su supporto informatico). Nel seguito si riportano invece i dettagli delle verifiche svolte sugli stessi elementi analizzati in precedenza, nel capitolo relativo alle verifiche secondo normativa dell'epoca, per consentire un confronto diretto del livello di sicurezza atteso, in rapporto alle due diverse normative. *Le verifiche sono condotte, come già indicato, in funzione delle armature come riportate negli elaborati esecutivi delle strutture.*

Nota: negli elaborati strutturali acquisiti, è indicato l'impiego di acciaio A.L.E. per le armature longitudinali delle travi e di acciaio tipo Aq.50 per le staffe.

Le verifiche sono state effettuate sui sottoelencati elementi:

Verifica di elementi dei corpi 1 e 2

Trave **T.151** - sezione 60/40x57 - corpo 2 livello +6.10m

Momento flettente di calcolo (negativo):	$M_{sd,}^-$	= -219 kNm
Momento flettente resistente (negativo):	$M_{Rd,}^-$	= -298 kNm

	$--> M_{Rd, -} > M_{sd, -} $	verifica soddisfatta
Momento flettente di calcolo (positivo):	$M_{sd, +} = 82 \text{ kNm}$	
Momento flettente resistente (positivo):	$M_{Rd, +} = 204 \text{ kNm}$	
	$--> M_{Rd, +} > M_{sd, +} $	verifica soddisfatta
Taglio sollecitante di calcolo:	$V_{sd} = 182 \text{ kN}$	
Taglio resistente:	$V_{Rd1} = 82 \text{ kN} < V_{sd}$	staffe richieste
	$V_{Rd3} = 165 \text{ kN} < V_{sd}$	verifica non soddisfatta

E' necessario quindi applicare una riduzione delle azioni variabili, tramite un coefficiente moltiplicativo pari a $\alpha_q = 0.75$, da cui conseguono:

$$V_{sd, \alpha} = 164 \text{ kN}$$

Pertanto i carichi variabili massimi nelle condizioni di verifica secondo NTC sono pari a $0.75 \times 3.00 = 2.25 \text{ kN/m}^2$.

Trave T.146 - sezione 60x28 - corpo 2 livello +2.50m

Momento flettente di calcolo (negativo):	$M_{sd, -} = -130 \text{ kNm}$	
Momento flettente resistente (negativo):	$M_{Rd, -} = -160 \text{ kNm}$	
	$--> M_{Rd, -} > M_{sd, -} $	verifica soddisfatta
Momento flettente di calcolo (positivo):	$M_{sd, +} = 78 \text{ kNm}$	
Momento flettente resistente (positivo):	$M_{Rd, +} = 155 \text{ kNm}$	
	$--> M_{Rd, +} > M_{sd, +} $	verifica soddisfatta
Taglio sollecitante di calcolo:	$V_{sd} = 153 \text{ kN}$	
Taglio resistente:	$V_{Rd1} = 76 \text{ kN} < V_{sd}$	staffe richieste
	$V_{Rsd} = 193 \text{ kN} > V_{sd}$	verifica soddisfatta

Non vengono però rispettati i quantitativi minimi prescritti dalla Normativa.

Travetto S.111 - corpo 2 livello +2.50m - luce netta = 7.5 m

Momento flettente di calcolo (positivo):	$M_{sd, +} = 37 \text{ kNm}$	
Momento flettente resistente (positivo):	$M_{Rd, +} = 35.7 \text{ kNm}$	
	$ M_{Rd, +} < M_{sd, +} $	verifica non soddisfatta

E' necessario quindi applicare una riduzione delle azioni variabili, tramite un coefficiente moltiplicativo $\alpha_q = 0.80$, da cui conseguono:

$$M_{sd, \alpha, +} = 33.3 \text{ kNm}$$

Pertanto i carichi variabili massimi nelle condizioni di verifica secondo NTC sono pari a $0.80 \times 3.00 = 2.40 \text{ kN/m}^2$.

Trave di sostegno P24 - sezione 45/135x148 - corpo 2 livello -1.10m

Momento flettente di calcolo (negativo):	$M_{sd, -} = -1907 \text{ kNm}$	
Momento flettente resistente (negativo):	$M_{Rd, -} = -3637 \text{ kNm}$	
	$--> M_{Rd, -} > M_{sd, -} $	verifica soddisfatta

Momento flettente di calcolo (positivo):	$M_{sd,+} = 3487$ kNm
Momento flettente resistente (positivo):	$M_{Rd,+} = 3747$ kNm
	--> $ M_{Rd,+} > M_{sd,+} $ verifica soddisfatta
Taglio sollecitante di calcolo:	$V_{sd} = 2356$ kN
Taglio resistente:	$V_{Rd1} = 276$ kN < V_{sd}
	staffe richieste
$V_{Rd2} = 2361$ kN > V_{sd} ; $V_{Rd3} = 792$ kN < V_{sd}	verifica non soddisfatta

Si vedano le considerazioni espresse nel par. 8.4 circa l'elevato valore del taglio agente V_{sd} e la conseguente necessità di approfondimenti, programmati con la campagna di indagini conoscitive (Fase 2).

Trave **T.165** - sezione assimilata a rettangolare 35x100 - corpo 2 livello +9.60m

Momento flettente di calcolo (negativo):	$M_{sd,-} = -407$ kNm
Momento flettente resistente (negativo):	$M_{Rd,-} = -823$ kNm
	--> $ M_{Rd,-} > M_{sd,-} $ verifica soddisfatta
Momento flettente di calcolo (positivo):	$M_{sd,+} = 250$ kNm
Momento flettente resistente (positivo):	$M_{Rd,+} = 968$ kNm
	--> $ M_{Rd,+} > M_{sd,+} $ verifica soddisfatta
Taglio sollecitante di calcolo:	$V_{sd} = 254$ kN
Taglio resistente:	$V_{Rd1} = 118$ kN < V_{sd} staffe richieste
$V_{Rd3} = 498$ kN > V_{sd}	verifica soddisfatta

Pilastro **P5** - sezione 40x50 - corpo 2

Sforzo normale di calcolo:	$N_{sd} = -1833$ kN
Momento flettente di calcolo:	$M_{sd} = 11$ kNm
$v = 0.779$; $\mu = 0.010$ --> $\omega = 0.15v = 0.117$	
Armatura richiesta per pressoflessione retta:	$A_{tot,req} = 863$ mm ²
Armatura sezione al piede:	$A_{tot,prov} = 1418$ mm ²
	verifica soddisfatta
Armatura minima:	$A_{min} = 600$ mm ² < $A_{tot,prov}$
	verifica soddisfatta
Interasse minimo: 12 x 18mm = 216 mm > 200 mm	verifica soddisfatta
Taglio di calcolo al piede:	$V_{sd} = 16$ kN
Taglio resistente:	$V_{Rd1} = 16.5$ kN > V_{sd}
	Staffe non richieste

Pilastro **P25** - sezione 45x90 - corpo 2

Sforzo normale di calcolo:	$N_{sd} = -3622$ kN
Momento flettente di calcolo:	$M_{sd} = 222$ kNm
$v = 0.760$; $\mu = 0.051$ --> $\omega = 0.10$	
Armatura richiesta per pressoflessione retta:	$A_{tot,req} = 1493$ mm ²
Armatura sezione al piede:	$A_{tot,prov} = 1606$ mm ²

Armatatura minima:	$A_{\min} = 1215 \text{ mm}^2 < A_{\text{tot,prov}}$	verifica soddisfatta
Interasse minimo: $12 \times 16\text{mm} = 192 \text{ mm} < 200 \text{ mm}$		verifica soddisfatta <u>verifica non soddisfatta</u>

Plinto del pilastro **P25** - base 145x225 cm - sottoplinto 200 x 270 cm

Capacità portante della fondazione:	$q_{\text{lim}} = 1725 \text{ kN/m}^2$	
Fattore di sicurezza:	$\gamma_m = 2.3$	
Capacità portante di progetto:	$R_d = 750 \text{ kN/m}^2$	
Pressione sul terreno di progetto:	$E_d = 696 \text{ kN/m}^2 < R_d$	verifica soddisfatta

Verifica di elementi del corpo palestra

Trave **TP3** - sezione 35/65x68 - corpo palestra livello -5.25m

Momento flettente di calcolo (negativo):	$M_{\text{sd},-} = -308 \text{ kNm}$	
Momento flettente resistente (negativo):	$M_{\text{Rd},-} = -434 \text{ kNm}$	
	--> $ M_{\text{Rd},-} > M_{\text{sd},-} $	verifica soddisfatta
Momento flettente di calcolo (positivo):	$M_{\text{sd},+} = 167 \text{ kNm}$	
Momento flettente resistente (positivo):	$M_{\text{Rd},+} = 333 \text{ kNm}$	
	--> $ M_{\text{Rd},+} > M_{\text{sd},+} $	verifica soddisfatta
Taglio sollecitante di calcolo:	$V_{\text{sd}} = 295 \text{ kN}$	
Taglio resistente:	$V_{\text{Rd1}} = 86 \text{ kN} < V_{\text{sd}}$	staffe richieste
$V_{\text{Rd3}} = 294 \text{ kN} < V_{\text{sd}}$	<u>verifica non soddisfatta</u>	

Si può ritenere accettabile il valore di resistenza calcolato, data la quasi coincidenza con il valore sollecitante.

Trave **TP1B** - sezione 35x100 - corpo palestra livello -5.25m

Momento flettente di calcolo (negativo):	$M_{\text{sd},-} = -575 \text{ kNm}$	
Momento flettente resistente (negativo):	$M_{\text{Rd},-} = -564 \text{ kNm}$	
	--> $ M_{\text{Rd},-} < M_{\text{sd},-} $	<u>verifica non soddisfatta</u>
Momento flettente di calcolo (positivo):	$M_{\text{sd},+} = 254 \text{ kNm}$	
Momento flettente resistente (positivo):	$M_{\text{Rd},+} = 536 \text{ kNm}$	
	--> $ M_{\text{Rd},+} > M_{\text{sd},+} $	verifica soddisfatta
Taglio sollecitante di calcolo:	$V_{\text{sd}} = 451 \text{ kN}$	
Taglio resistente:	$V_{\text{Rd1}} = 120 \text{ kN} < V_{\text{sd}}$	staffe richieste
$V_{\text{Rd3}} = 341 \text{ kN} < V_{\text{sd}}$	<u>verifica non soddisfatta</u>	

E' necessario quindi applicare una riduzione delle azioni variabili, tramite un coefficiente moltiplicativo pari a $\alpha_q = 0.60$, da cui conseguono:

$$V_{\text{sd,alfa}} = 234 \text{ kN}$$

Pertanto i carichi variabili massimi nelle condizioni di verifica secondo NTC sono pari a $0.60 \times 5.00 = 3.00 \text{ kN/m}^2$.

Pilastro **P2** - sezione 40x80

Sforzo normale di calcolo:	$N_{sd} = -1372 \text{ kN}$
Momento flettente di calcolo:	$M_{sd} = 80 \text{ kNm}$
$\nu = 0.364$; $\mu = 0.026$ --> $\omega = 0.15\nu = 0.055$	
Armatura richiesta per pressoflessione retta:	$A_{tot,req} = 649 \text{ mm}^2$
Armatura sezione al piede:	$A_{tot,prov} = 3768 \text{ mm}^2$
Armatura minima:	$A_{min} = 960 \text{ mm}^2 < A_{tot,prov}$
Interasse minimo: 12 x 20mm = 240 mm > 200 mm	
Taglio di calcolo al piede:	$V_{sd} = 32 \text{ kN}$
Taglio resistente:	$V_{Rd1} = 111 \text{ kN} > V_{sd}$

verifica soddisfatta

verifica soddisfatta

verifica soddisfatta

Verifica di elementi della passerella di ingresso

Trave **T.7** - sezione 70x24 - copertura

Momento flettente di calcolo (assoluto):	$M_{sd} = -44.8 \text{ kNm}$
Momento flettente resistente (assoluto):	$M_{Rd} = -54.6 \text{ kNm}$
	--> $ M_{Rd} < M_{sd} $
Taglio sollecitante di calcolo:	$V_{sd} = 47 \text{ kN}$
Taglio resistente:	$V_{Rd1} = 76 \text{ kN} > V_{sd}$

verifica soddisfatta

Staffe non richieste

La verifica di alcuni degli elementi scelti a campione non è risultata soddisfatta, nel contesto delle assunzioni e delle ipotesi fatte in precedenza. Con il livello attuale di conoscenza della struttura, il soddisfacimento delle condizioni di sicurezza previste nelle NTC richiederebbe la riduzione dei carichi variabili, nelle parti di fabbricato che caricano gli elementi in questione, secondo un coefficiente di riduzione α pari a 0.75 per i corpi scuola e 0.60 per la palestra.

Alternativamente, si dovrebbe procedere ad un rinforzo degli elementi sopra citati, per incrementarne la capacità resistente.

Un'analisi separata risulta necessaria per le due travi di sostegno dei pilastri in falso, in quanto la quantità di staffe indicata in progetto non è sufficiente a resistere al taglio sollecitante.

10. Conclusioni

Le verifiche condotte sulle strutture della scuola in oggetto, differenziate a seconda della normativa di riferimento selezionata (epoca o NTC), hanno fornito esiti diversi.

Sulla base del progetto esecutivo delle strutture e delle caratteristiche dei materiali ivi riportate, integrato dalle ipotesi poste sugli aspetti attualmente incogniti e da convalidare con l'esecuzione della campagna conoscitiva in progetto, le verifiche condotte in conformità alle normative vigenti all'epoca della costruzione sarebbero infatti solo parzialmente positive, in quanto per alcuni elementi l'analisi mostra il superamento delle tensioni ammissibili a taglio e a capacità portante del terreno. Si sottolinea a tal proposito che *dovrà essere verificata l'effettiva adozione in situ di acciaio ad alto limite elastico*, come indicato nel progetto strutturale.

Inoltre, alcune criticità riscontrate in sede di sopralluogo potrebbero segnalare problematiche di ordine statico, che dovranno essere anch'esse appurate e approfondite con la successiva campagna di indagini (Fase 2).

Per quanto concerne invece la valutazione della sicurezza secondo la vigente Normativa (D.M. 14/1/2008), nel quadro generale delle ipotesi e assunzioni fatte sulla corrispondenza tra progettato e costruito e su altri aspetti attualmente incogniti, le verifiche dettagliate al Capitolo 9 dimostrano che alcuni elementi strutturali non sono adeguati a resistere alle azioni statiche, nella combinazione di carico di stato limite ultimo, mentre altri elementi risultano essere adeguati. La mancata idoneità di alcuni elementi è dovuta prevalentemente alla penalizzazione imposta alle resistenze dei materiali, operata tramite il fattore di confidenza, che tiene conto del basso livello di conoscenza adottato, e solo in misura minore alla differente entità dei carichi nelle due normative. Infatti, secondo l'attuale normativa i carichi variabili per l'uso scolastico hanno un valore inferiore rispetto a quelli della normativa dell'epoca, ad eccezione dei carichi neve, che sono stati invece incrementati.

E' stato quindi indicato un valore α di riduzione delle azioni variabili (ad eccezione del carico neve), che consenta il soddisfacimento dei criteri di sicurezza delle NTC.

Le prescrizioni di Legge riguardanti i dettagli costruttivi degli elementi in calcestruzzo armato non sono invece generalmente rispettate, com'era prevedibile in quanto tali prescrizioni, più restrittive rispetto al passato, sono state introdotte soltanto con le normative più recenti.

L'esito delle verifiche riassunte nella presente relazione è comunque correlato all'ipotesi che gli elementi strutturali effettivamente realizzati corrispondano a quanto riportato negli elaborati di progetto acquisiti, in termini di geometria, di armatura, e di resistenza dei materiali, soprattutto per quanto riguarda l'impiego di acciaio ad alto limite elastico.

Sulla base di quanto esposto, verifiche e valutazioni più approfondite saranno possibili dopo l'esecuzione della campagna di indagini e prove in progetto, a conclusione delle quali sarà possibile indicare all'Amministrazione le eventuali misure da adottare per il mantenimento del livello di sicurezza originario della costruzione, per l'eliminazione delle criticità già riscontrate o di quelle che potrebbero essere evidenziate a seguito delle indagini conoscitive.

Nichelino, li

Il professionista

(ing. Carmelo RINALDIS)

- Allegato 1: Documentazione fotografica;*
Allegato 2: Elaborati grafici architettonici dell'opera;
Allegato 3: Risultati della campagna di prove sclerometriche;
Allegato 4: Dati e risultati principali del modello di calcolo (su supporto informatico)